



TUGAS AKHIR - RG141536

**ANALISA PLANIMETRIK HASIL PEMETAAN FOTO
UDARA SKALA 1:1000 MENGGUNAKAN WAHANA
FIX WING UAV
(Studi Kasus : Kampus ITS Sukolilo)**

AHMAD SOLIHUDDIN AL AYYUBI
NRP 3513 100 065

Dosen Pembimbing
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA.
Husnul Hidayat, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RG141536

**ANALISA PLANIMETRIK HASIL PEMETAAN FOTO
UDARA SKALA 1:1000 MENGGUNAKAN WAHANA
FIX WING UAV
(Studi Kasus : Kampus ITS Sukolilo)**

**AHMAD SOLIHUDDIN AL AYYUBI
NRP 3513 100 065**

**Dosen Pembimbing
Agung Budi Cahyono, S.T., MSc., DEA.
Husnul Hidayat, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

**ANALYSIS PLANIMETRIC OF AERIAL MAPPING
RESULT 1:1000 SCALE USING FIXED WING UAV
(Case Study : ITS Campus, Sukolilo)**

**AHMAD SOLIHUDDIN AL AYYUBI
NRP 3513 100 065**

**Supervisor
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA.
Husnul Hidayat, S.T., M.T.**

**GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISA PLANIMETRIK HASIL PEMETAAN FOTO UDARA SKALA 1:1000 MENGGUNAKAN WAHANA FIX WING UAV (Studi Kasus : Kampus ITS Sukolilo)

Nama Mahasiswa : Ahmad Solihuddin Al Ayyubi
NRP : 3513 100 065
Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, ST, MSc,DEA/
Husnul Hidayat, ST., MT

ABSTRAK

Beberapa tahun belakangan ini, teknologi fotogrametri terus berkembang dengan pesat. Salah satu manfaat yang bisa digunakan adalah untuk pekerjaan pemetaan skala besar. Di Indonesia, penyediaan data informasi geospasial masih dirasa kurang. Oleh karena itu teknologi foto udara tanpa awak atau yang biasa disebut dengan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dapat menunjang penyedia data spasial dalam skala yang cukup besar. Selain efektif dan efisien baik dari segi biaya maupun waktu penggunaan, UAV juga dapat menghasilkan foto yang cukup jelas. Dalam melakukan proses pembuatan ortofoto pun dapat dilakukan secara otomatis dengan perangkat lunak pengolahan foto udara.

Akuisisi data dilakukan di Kampus Intitut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo – Surabaya dengan luas (± 184 Ha). Wahana yang digunakan adalah Fix Wing UAV jenis SkyWalker, sedangkan sensor yang digunakan yaitu kamera digital non-metrik (Canon PowerShot S100). Titik kontrol tanah / GCP yang digunakan adalah 16 titik yang menyebar di kawasan Kampus ITS.

Dari hasil penelitian ini didapat bahwa Nilai RMSE yang dihasilkan yaitu sebesar 0,163 meter dan hasil uji akurasi CE90 yaitu sebesar 0,24 meter. Berdasarkan NMAS nilai akurasi pada penelitian ini memenuhi toleransi untuk skala 1:1000 yaitu pada kelas 2.

Kata kunci : Foto Udara, UAV, Fix Wing, Uji Akurasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS PLANIMETRIC OF AERIAL MAPPING RESULT 1:1000 SCALE USING FIXED WING UAV (CASE STUDY : ITS CAMPUS, SUKOLILO)

Nama Mahasiswa : Ahmad Solihuddin Al Ayyubi
NRP : 3513 100 065
Jurusan : Geomatics Engineering FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA/
Husnul Hidayat, ST, MT

ABSTRACT

In recent years, photogrammetric technology has been growing rapidly. One of the benefits that can be used is large scale mapping work. In Indonesia, the provision of geospatial data is still lacking . Therefore, Unmanned aerial photography technology or commonly called the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) can support spatial data provider in a large scale. In addition to effective and both in terms of cost and time of use, UAV can produce images that quite clear. In the process of making orthophoto can be processed automatically using aerial photography software.

Data acquisition was conducted at Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo Campus – Surabaya with area (± 184 Hectare). The vehicle used Fixed Wing UAV type SkyWalker, while the sensor used non metric digital camera (Canon PowerShot S100). Ground control points / GCP used 16 points spread across campus area of ITS.

From the results of this research, the value of RMSEr produced that 0,163 meters and CE90 accuracy test results is 0,24 meters. Based on NMAS the value of accuracy that tolerance fulfill for 1:1000 scale is third class.

Keyword : Aerial Photogrammetry , UAV, Fix Wing, Accuracy test

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA PLANIMETRIK HASIL PEMETAAN
FOTO UDARA SKALA 1:1000 MENGGUNAKAN
WAHANA *FIX WING* UAV
(STUDI KASUS : KAMPUS ITS, SUKOLILO)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AHMAD SOLIHUDDIN AL AYYUBI
NRP. 3513 100 065**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA
NIP.19690520 199903 1 002

(.....)

2. Husnul Hidayat, ST, MT
NIP.19900807 201504 1 001

(.....)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan Rahmat, Hidayah dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dengan judul ***“Analisa Planimetrik Hasil Pemetaan Foto Udara Skala 1:1000 Menggunakan Wahana Fix Wing UAV (Studi Kasus : Kampus ITS Sukolilo)”*** ini dengan baik.

Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini banyak pihak yang telah membantu penulis sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua Orang tua penulis, Bapak Setyo Budhi dan Ibu Fitriyatul Masruro atas doa dan restu serta semua dukungan yang telah diberikan.
2. Keluarga Penulis, Amalia Bashiroh, Mirza Qomaruz Zaman dan Muhammad Rizqi Mardhotillah.
3. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST.,MSc.,PhD., selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika FTSP ITS Surabaya.
4. Bapak Yanto Budisusanto, ST., M.Eng., selaku Kaprodi S-1 Teknik Geomatika FTSP ITS Surabaya.
5. Ibu Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil, Ph.D., selaku dosen wali.
6. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T.,M.Sc.,DEA., selaku dosen pembimbing dalam penelitian tugas akhir ini. Terima kasih atas kesempatan, kesabaran serta dukungan dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir ini.
7. Bapak Husnul Hidayat, ST., MT., selaku dosen pembimbing dalam penelitian tugas akhir ini.
8. Hadits Baroya selaku pemilik wahana UAV Farm-Mapper.

9. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS, khususnya angkatan 2013 yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyusun tugas akhir ini.
10. Teman-teman yang telah membantu dalam proses pengukuran dan pengambilan data penelitian (Cenna, Adib, Fadhil, Wildan, Selfi, Aling, Okta, Yoga, Dody, Memet, Kevin, dan Rino).

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan penelitian laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan untuk perbaikan laporan ini kedepannya.

Akhir kata penulis menyampaikan terima kasih atas semua bantuan dan kesempatan yang telah diberikan kepada penulis, semoga penelitian tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LANAMAN JUDUL.....	ii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Fotogrametri.....	5
2.2 Foto Udara	6
2.2.1 Pemotretan Udara Tegak (<i>Vertical</i>)	6
2.2.2 Pemotretan Udara Miring/Condong (<i>Oblique</i>)	7
2.2.3 Pemotretan Udara Sangat Miring (<i>High Oblique</i>).....	8
2.3 Foto Udara Format Kecil	8
2.4 Restitusi Foto Udara	9
2.4.1 Orientasi Relatif dan Absolut	9
2.4.2 Triangulasi Udara.....	12
2.5 Skala Foto	12
2.5.1 Skala Foto Udara Vertikal dengan Medan yang Tidak Datar.....	13
2.5.2 Skala Foto Rata-Rata.....	14
2.5.3 <i>Ground Sample Distance</i>	14
2.6 Kamera.....	15

2.7 Sensor.....	17
2.8 Kalibrasi Kamera	18
2.8.1 Parameter Kalibrasi Kamera.....	19
2.9 Prinsip Kesegarisan.....	22
2.10 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) Fotogrametri ..	24
2.11 Titik Kontrol Tanah (<i>Ground Control Point</i>)	25
2.12 Structure from Motion.....	25
2.12.1 <i>Feature Extraction</i>	27
2.12.2 <i>Feature Matching</i>	28
2.13 Spesifikasi Wahana dan Kamera.....	29
2.13.1 Spesifikasi Wahana	29
2.13.2 Spesifikasi Kamera.....	30
2.14 Uji Ketelitian Peta.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Lokasi Penelitian.....	37
3.2 Data dan Peralatan	37
3.2.1 Data	37
3.2.1 Peralatan	38
3.3 Metodologi Penelitian	38
3.3.1 Tahapan Persiapan.....	39
3.3.2 Tahap Pengolahan Data.....	40
3.3.3 Tahap Analisa.....	44
3.3.4 Tahap Penyajian Data.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Hasil	45
4.1.1 Pembuatan Jalur Terbang	45
4.1.2 Hasil Pengukuran GCP dan ICP.....	46
4.1.3 Hasil Kalibrasi Kamera	49
4.1.4 Pengolahan Foto dan Orthomosaik	51
4.1.5 Koordinat ICP Model dan Lapangan.....	55
4.2 Pembahasan.....	56
KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan	63

5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemotretan Udara Tegak (<i>Vertical</i>).....	7
Gambar 2. 2 Pemotretan Udara Miring (<i>Oblique</i>)	7
Gambar 2. 3 Pemotretan Udara Miring (<i>Oblique</i>)	8
Gambar 2. 4 Proses Orientasi.....	9
Gambar 2. 5 Gambar Foto Udara 2D	13
Gambar 2. 6 <i>Color Filter Array Sensor</i>	18
Gambar 2. 7 Prinsip Kesegaran	23
Gambar 2.8 Contoh SIFT yang terdeteksi.....	28
Gambar 2. 9 Farm Mapper	29
Gambar 2.10 Kamera Canon PowerShot s100.....	30
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	37
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3. 3 Diagram alir tahap pengolahan data	42
Gambar 4. 1 Rencana Jalur Terbang Fix Wing UAV	45
Gambar 4.2 Persebaran titik GCP	46
Gambar 4.3 Desain Jaring Titik Kontrol Tanah	47
Gambar 4.4 Standar deviasi koordinat titik GCP	48
Gambar 4.5 Standar deviasi koordinat titik ICP.....	49
Gambar 4. 6 Visualisasi distorsi pada kamera Canon PowerShot S100.50	
Gambar 4. 7 Lokasi kamera dan <i>overlap</i> ortofoto.....	51
Gambar 4.8 Posisi kamera pada saat pemotretan	52
Gambar 4.9 Foto gagal ter- <i>alignment</i>	52
Gambar 4.10 Hasil <i>Tie Point</i>	53
Gambar 4.11 Hasil Pembentukan <i>Dense Cloud</i>	54
Gambar 4.12 Hasil Pembentukan <i>Mesh</i>	54
Gambar 4.10 Hasil Pembentukan <i>Model Textured</i>	55
Gambar 4.13 Hasil Pembentukan Ortomosaik	55
Gambar 4.14 lokasi kamera yang terbalik.....	57
Gambar 4.15 Proses <i>Georeferencing</i> pada foto.....	57
Gambar 4.16 Terlihat obyek gedung yang kurang halus.....	59
Gambar 4.17 <i>Mozaik</i> belum terbentuk dengan sempurna	59

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Wahana	30
Tabel 2.2 Spesifikasi Kamera	31
Tabel 4.1 Perencanaan terbang foto udara	46
Tabel 4.2 Koordinat GCP Hasil Pengukuran Lapangan.....	47
Tabel 4.3 Koordinat ICP Hasil Pengukuran Lapangan	48
Tabel 4.4 Hasil Kalibrasi Kamera Canon PowerShoot S100	50
Tabel 4.5 Hasil Pengolahan.....	51
Tabel 4.6 Perbandingan Koordinat titik ICP model dan lapangan.	56
Tabel 4.7 RMS Error nilai pergeseran pada proses <i>georeferencing</i>	58
Tabel 4.8 Uji Ketelitian Horizontal	61
Tabel 4.8 Tabel Uji CE90 untuk ketelitian Peta Skala 1:1000	62

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Melihat perkembangan permintaan akan informasi geospasial suatu wilayah dalam berbagai macam bidang, semakin berkembang pula metode dalam melakukan kegiatan pemetaan. Teknologi yang canggih seperti kamera dan pesawat membuat pekerjaan foto udara dapat dilakukan dengan waktu yang relatif lebih cepat dan akurasi yang cukup tinggi. Proses pengolahan foto udara pun kini dipermudah dengan adanya teknologi GPS yang terpasang pada wahana. Selain itu, adanya perangkat lunak pendukung dalam pembuatan jalur terbang pesawat membuat proses pemotretan udara akan lebih mudah dan dapat dimonitor secara langsung dengan kendali jarak jauh. (Gularso, 2013)

Jika dilihat dari segi waktu dan biaya dalam melakukan pemetaan menggunakan metode foto udara sangat dipengaruhi oleh jenis kamera dan wahana yang digunakan. Hingga saat ini telah berkembang metode alternatif yaitu Foto Udara Format Kecil (FUFK) dengan menggunakan film dengan ukuran sensor sekitar 24 mm x 36 mm dan panjang fokus 35 mm.

Kamera merupakan salah satu komponen penting yang dibutuhkan dalam melakukan pemotretan foto udara. Kamera non-metrik digital sebenarnya dirancang bukan untuk keperluan foto udara. Hal ini karena foto profesional menghasilkan kualitas gambar yang baik namun tingkat akurasi geometriknya kurang. Namun hal tersebut dapat diminimalisir dengan melakukan kalibrasi kamera. Kalibrasi kamera merupakan proses penentuan parameter internal kamera udara yang selanjutnya parameter tersebut dimasukkan dalam proses orientasi dalam.

Dalam melakukan pemotretan foto udara dibutuhkan titik-titik yang diketahui dan memiliki referensi koordinat tanah lokasi dimana pengukuran dilaksanakan. Titik-titik ini disebut *Ground Control Point* atau titik kontrol (Seker dan Duran, 2011). *Ground Control Point* (GCP) berfungsi sebagai titik sekutu yang menghubungkan antara sistem koordinat peta dan sistem koordinat foto. Dari GCP inilah nantinya peta foto akan memiliki koordinat yang sesuai dan terikat dengan wilayah pengukuran tersebut. Pengukuran GCP biasanya menggunakan pengukuran terestris dan harus terikat dengan *base station* yang digunakan sebagai premark pada saat pesawat melakukan pemotretan udara.

Wahana pesawat tanpa awak atau yang biasa disebut UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan wahana yang mendukung untuk pengukuran fotogrametri. UAV ini memungkinkan untuk melakukan pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global. (Eisenbeiss, 2008)

Dari pembahasan diatas, maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa akurat hasil ketelitian geometrik ortofoto yang dihasilkan dengan menggunakan wahana *Fix Wing* UAV dan kamera non-metrik digital yang dilakukan di kawasan kampus Institut Teknologi Sepuluh November dengan luas (± 184 Hektar).

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang dimunculkan pada penelitian ini adalah

- a. Bagaimana proses pemetaan foto udara menggunakan wahana Fix Wing UAV?
- b. Bagaimana hasil akurasi koordinat ICP ortofoto pada persebaran ICP?
- c. Apakah hasil akurasi tersebut memenuhi untuk skala 1:1000?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Wilayah studi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kampus ITS Sukolilo dengan luas ± 184 Ha.
- b. Wahana yang digunakan dalam penelitian ini adalah UAV *Fix Wing*.
- c. Kamera yang digunakan yaitu Canon PowerShot S100.
- d. Jumlah titik control yang digunakan yaitu 16 titik GCP.
- e. Metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Structure from Motion* (SfM).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Membuat peta foto udara skala 1:1000 daerah kampus ITS, Sukolilo.
- b. Melakukan perbandingan *Independent Check Point* model dan lapangan.
- c. Melakukan uji akurasi koordinat planimetrik berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang ketelitian horizontal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Memberikan informasi berupa peta daerah kampus ITS Skala 1:1000 terupdate 2017.
- b. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan proses perencanaan dan pembangunan di Kampus ITS, Sukolilo.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fotogrametri

Fotogrametri adalah suatu seni, ilmu dan teknik untuk memperoleh informasi metris tentang objek fisik dan keadaan di permukaan bumi melalui proses perekaman, pengukuran, dan penafsiran citra fotografik. Citra fotografik adalah foto udara yang diperoleh dari pemotretan dari udara yang menggunakan pesawat terbang atau wahana terbang lainnya. Hasil dari proses fotogrametri adalah berupa peta foto atau peta garis. Peta ini umumnya dipergunakan untuk berbagai kegiatan perencanaan dan desain seperti jalan raya, jalan kereta api, jembatan, jalur pipa, tanggul, jaringan listrik, jaringan telepon, bendungan, pelabuhan, pembangunan perkotaan, dsb. Fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara. Hasil pemetaan secara fotogrametrik berupa peta foto dan tidak dapat langsung dijadikan dasar atau lampiran penerbitan peta.

Arti fotogrametri yang tersirat pada definisi tersebut mencakup dua bidang yang berbeda, yaitu:

1. Fotogrametri Metrik

Terdiri dari pengukuran cermat berdasarkan foto dan sumber informasi lain yang pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi relatif titik-titik. Dengan demikian dimungkinkan untuk memperoleh ukuran jarak, sudut, luas, volume, elevasi, ukuran dan bentuk objek.

2. Fotogrametri Interpretatif

Mempelajari pengenalan dan identifikasi objek serta menilai arti pentingnya objek tersebut melalui suatu analisis sistematis dan cermat.

Fotogrametri metrik diterapkan terutama dalam penyusunan planimetrik dan peta topografi dari foto. Foto-foto tersebut lebih sering menggunakan foto udara (yang diambil dari pesawat terbang), tapi foto terestris (yang diambil

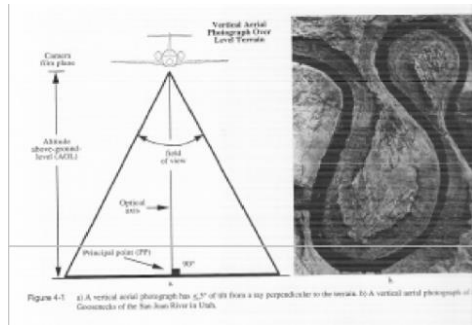
dari permukaan bumi dengan kamera) juga dapat digunakan. Sedangkan untuk fotogrametri interpretatif termasuk dalam cabang interpretasi fotografi dan penginderaan jauh. Interpretasi fotografi melibatkan sistematis studi gambar fotografi yang bertujuan untuk identifikasi obyek dan penilaian signifikansinya. Penginderaan jauh merupakan cabang baru dari fotogrametri interpretatif seperti penafsiran fotografi yang digunakan untuk mengenali obyek tanpa kontak fisik secara langsung. Pemetaan secara fotogrametrik tidak dapat lepas dari referensi pengukuran secara terestris, mulai dari penetapan *ground controls* (titik dasar kontrol) hingga kepada pengukuran batas tanah. Batas-batas tanah yang diidentifikasi pada peta foto harus diukur di lapangan.

2.2 Foto Udara

Foto udara adalah sebuah gambar (bayangan fotografi) yang dicetak pada media kertas foto (positif, negatif, diapositif) yang dihasilkan dari hasil pemotretan secara fotografi (Wicaksono, 2009) mempunyai beberapa jenis, yaitu Pemotretan udara tegak (*Vertical*), Miring/Condong (*Oblique*), dan sangat miring (*High Oblique*).

2.2.1 Pemotretan Udara Tegak (*Vertical*)

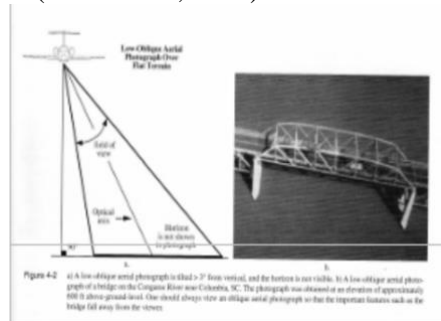
Pemotretan udara secara tegak ini dapat dikatakan bahwa pemotretan dilakukan dengan posisi pesawat udara yang membawa kamera melakukan pemotretan secara tegak lurus dengan permukaan bumi. Posisi kamera yang tegak lurus didapatkan dengan sudut kemiringan dibawah 1 derajat. Maka akan menghasilkan foto udara dengan pemotretan secara *vertical* (Wicaksono, 2009).



Gambar 2.1 Pemotretan Udara Tegak (*Vertical*)
(Sumber : Wicaksono, 2009)

2.2.2 Pemotretan Udara Miring/Condong (*Oblique*)

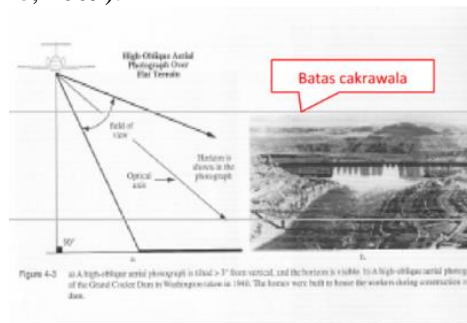
Pemotretan udara secara miring atau oblique dilakukan dengan posisi antara pesawat udara yang membawa kamera (sumbu lensa kamera) dengan permukaan bumi memiliki sudut yang agak miring (untuk pemotretan agak miring atau *low oblique*) dan dengan kemiringan tertentu (untuk pemotretan miring atau *oblique*). Pemotretan udara secara miring ini memiliki karakter hasil foto udara terlihat agak miring dan atau miring, namun batas cakrawala atau *horizon* tidak terlihat (Wicaksono, 2009).



Gambar 2. 2 Pemotretan Udara Miring (*Oblique*)
(Sumber : Wicaksono, 2009)

2.2.3 Pemotretan Udara Sangat Miring (*High Oblique*)

Pemotretan Udara Sangat Miring atau *high oblique* ini sedikit berbeda dengan pemotretan udara miring. Perbedaan yang terlihat pada pemotretan udara sangat miring adalah terlihat atau tidaknya garis batas cakrawala atau *horizon*. Namun, perbedaan lain adalah sudut pengambilan gambar pada *optical axis*-nya, sehingga batas cakrawala bisa ikut terpotret. (Wicaksono, 2009).



Gambar 2. 3 Pemotretan Udara Miring (Oblique)
(Sumber : Wicaksono, 2009)

2.3 Foto Udara Format Kecil

Foto Udara Format Kecil (FUFK) adalah foto yang dihasilkan dari pemotretan yang menggunakan kamera dengan ukuran film sekitar 24 mm x 36 mm dengan panjang focus 35 mm. Kamera tersebut sistem lensanya tidak didesain untuk keperluan pemetaan (tidak dilengkapi *fiducial mark* dan harga orientasi dalamnya seperti koordinat *fiducial mark*, panjang focus terkalibrasi, lokasi titik utama tidak diketahui) dan dapat berupa kamera analog atau digital (Warner dkk, 1996).

Keunggulan Foto Udara Format Kecil (FUFK) ini yaitu kemudahan pengadaan/sewa peralatan dan biaya yang relatif murah. Tetapi memiliki kelemahan utama yaitu ketidaksempurnaan sistem lensa kamera untuk keperluan

Keterangan :

X_i, y_i, z_i	= koordinat pusat proyeksi kamera
x, y, z	= koordinat objek pada sistem koordinat model
X, Y, Z	= koordinat objek pada sistem koordinat tanah
M	= skala pada sistem xyz
R	= matriks rotasi 3D dalam sistem xyz ke sistem XYZ yang didefinisikan dalam Ω, ϕ, κ
P_1, P_2, \dots, P_4	= objek di permukaan bumi
O_1, O_2	= pusat proyeksi kamera
Ω	= rotasi pada sumbu x foto
Φ	= rotasi pada sumbu y foto
K	= rotasi pada sumbu z foto

Orientasi relatif adalah penempatan sepasang foto udara tersebut agar memiliki posisi dan orientasi seperti pada saat pemotretan (Soeta'at, 2011). Tujuan utama dari proses Orientasi relatif ini adalah membuat model dari sepasang foto stereo dengan menentukan *Tie Point* pada masing-masing foto. Pada proses ini dilakukan juga transformasi sistem koordinat dari sistem koordinat foto ke sistem koordinat model.

Orientasi absolut merupakan proses pengikatan sistem koordinat model ke sistem koordinat tanah (Soeta'at, 2011). Terdapat 7 parameter yang dicari yaitu : faktor skala (λ), tiga sudut rotasi omega (ω), phi (ϕ), kappa (κ) dan koordinat yang menunjukkan posisi kamera (X_0, Y_0, Z_0). Secara analitis, orientasi absolut adalah melakukan transformasi tiga dimensi dari sistem koordinat model ke sistem koordinat tanah. Slama (1980) menyatakan hubungan antara sistem koordinat

model dengan sistem koordinat tanah dapat dimodelkan dalam persamaan berikut.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda \cdot R \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Keterangan :

X, Y, Z = koordinat dalam sistem koordinat tanah
 X₀, Y₀, Z₀ = parameter translasi
 λ = faktor skala
 x, y, z = koordinat dalam sistem koordinat model
 R = matriks rotasi

Persamaan matriks rotasi (R) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$R = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{23} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Keterangan :

m₁₁ = cos \varnothing cos κ
 m₁₂ = sin ω sin \varnothing cos κ + cos ω sin κ
 m₁₃ = - cos ω sin \varnothing cos κ + sin ω sin κ
 m₂₁ = - cos \varnothing sin κ
 m₂₂ = - sin ω sin \varnothing sin κ + cos ω cos κ
 m₂₃ = cos ω sin \varnothing sin κ + sin ω cos κ
 m₃₁ = sin \varnothing
 m₃₂ = -sin ω cos \varnothing
 m₃₃ = cos ω cos \varnothing

2.4.2 Triangulasi Udara

Dalam kegiatan pemotretan udara, untuk meminimalisir biaya dan mempercepat proses, maka dipergunakan titik kontrol tanah (GCP) seminim mungkin. Umumnya GCP ditempatkan pada setiap interval 4 s.d 6 basis foto (Konecny 2003 dalam Harintaka 2008). Untuk perapatan GCP tersebut dilakukan dengan Triangulasi Udara.

Triangulasi udara adalah metode untuk mendapatkan parameter orientasi luar (EO). Orientasi luar adalah posisi dan orientasi dari kamera saat pengambilan gambar. Posisi kamera berarti posisi pusat foto dalam bentuk koordinat X, Y, Z. Orientasi kamera ditunjukkan dengan omega (rotasi pada sumbu x), phi (rotasi pada sumbu y) and kappa (rotasi pada sumbu z). Koordinat X, Y, Z dan omega, phi, kappa disebut sebagai enam parameter orientasi luar (EOP).

Triangulasi udara digunakan untuk mendapatkan parameter EO dan nilai koordinat setiap titik ikat foto udara yang berbasis GCP agar setiap foto dapat diorientasikan secara benar dan akurat yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghasilkan produk fotogrametri dan geospasial lainnya (BSN, 2014).

2.5 Skala Foto

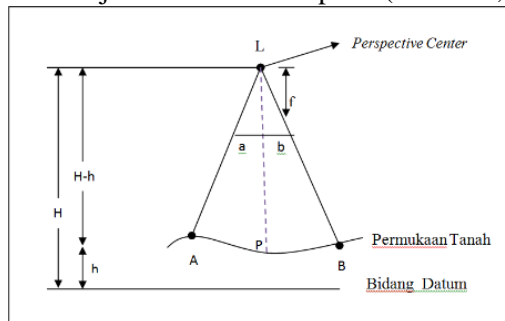
Skala peta biasanya diartikan sebagai perbandingan antara jarak di dalam peta dan jarak yang sebenarnya. Dalam foto udara, skala yang dimaksud adalah merupakan perbandingan antara panjang fokus (f) dengan tinggi terbang pesawat dengan bidang rata-rata tanah (H).

Skala ini hanya berlaku untuk foto udara vertikal dengan daerah yang relatif datar. Skala data dinyatakan dalam unit setara, dalam rangka pecahan tanpa besaran, atau dalam perbandingan tanpa besaran. Sebagai contoh, apabila 1 inci

pada peta atau foto mewakili 1.000 kaki (12.000 inci) diatas tanah.

2.5.1 Skala Foto Udara Vertikal dengan Medan yang Tidak Datar

Medan yang dipotret mempunyai ketinggian yang beraneka, maka jarak obyek akan berbeda-beda pula, sebagai akibatnya maka skala didalam foto tersebut menjadi berbeda-beda pula. (Hertanto, 2014)



Gambar 2. 5 Gambar Foto Udara 2D
(Hertanto, 2014)

Dari gambar diatas, maka dua segitiga sebangun L_{ab} dan L_{AB} dapat dinyatakan bahwa skala S_{AB} adalah sebagai berikut :

$$S_{AB} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H'} \quad (2.3)$$

Dimana :

- S_{AB} = Skala
- ab = Ukuran sensor
- AB = Ukuran sebenarnya
- f = Fokus Kamera
- H' = Tinggi Kamera

2.5.2 Skala Foto Rata-Rata

Skala rata-rata merupakan skala pada ketinggian rata-rata medan yang terliput oleh suatu foto udara tertentu dan dinyatakan sebagai berikut :

$$S_{rata-rata} = \frac{f}{H-h_{rata-rata}} \quad (2.4)$$

Apabila harus digunakan skala rata-rata maka harus dimengerti bahwa hal itu hanya tepat pada titik-titik yang terletak pada ketinggian rata-rata saja (Hertanto, 2014).

2.5.3 Ground Sample Distance

Salah satu unsur sensor kamera yaitu resolusi spasial sensor atau resolusi spasial kamera. Resolusi spasial kamera adalah ukuran dari sebuah piksel dalam micron sedangkan ukuran satu piksel pada objek yang dipotret disebut *Ground Sample Distance* (GSD). GSD yaitu ukuran kualitas sebuah foto udara. Nilai GSD menggambarkan cakupan wilayah yang mampu digambarkan dalam 1 piksel. GSD dapat dihitung dengan persamaan berikut (Soeta'at, 2011) :

$$GSD = \text{resolusi spasial} \times \frac{H}{F} \quad (2.5)$$

Keterangan :

GSD	= <i>Ground Sample Distance</i>
H	= Tinggi terbang dari bidang dasar daerah yang difoto
F	= Jarak fokus kamera udara

2.6 Kamera

Kamera merupakan salah satu instrumen paling penting dalam dunia fotogrametri. Oleh karena itu dapat dikatakan pula bahwa foto yang akurat (mempunyai kualitas geometri yang tinggi) diperoleh dari kamera yang teliti. Baik untuk keperluan foto udara maupun foto terrestrial, kamera di klasifikasikan menjadi kategori umum, yaitu:

1. Kamera Metrik

Kamera metrik merupakan kamera yang dirancang khusus untuk keperluan fotogrametrik. Kamera metrik yang umum digunakan mempunyai ukuran format 23 cm x 23 cm, kamera metrik dibuat stabil dan dikalibrasi secara menyeluruh sebelum digunakan. Nilai-nilai kalibrasi dari kamera metrik seperti panjang fokus, distorsi radial lensa, koordinat titik utama foto diketahui dan dapat digunakan untuk periode yang lama.

2. Kamera Non Metrik

Kamera non-metrik dirancang untuk foto professional maupun pemula, dimana kualitas gambar lebih diutamakan daripada kualitas geometrinya. Kamera non-metrik memiliki dua keterbatasan utama yaitu :

- a. Ketidakstabilan Geometrik

Masalah terbesar penggunaan kamera non-metrik adalah ketidakstabilan geometrik. Kamera non-metrik memiliki lensa yang tidak sempurna, sehingga foto udara yang dihasilkan dari perekaman kamera non-metrik mengalami kesalahan. Kamera ini tidak memiliki tanda-tanda fidusial, namun dapat dilakukan modifikasi untuk membuat tanda fidusial. Selain itu pada kamera non-metrik tidak diketahui secara pasti besarnya panjang fokus dan posisi principal point, sehingga pengukuran pada foto udara menjadi kurang teliti. Kamera non-metrik dapat dikalibrasi dengan teknik tertentu sehingga parameter-parameter internal yang berpengaruh pada ketelitian geometrik foto dapat

diketahui, dan kamera non-metrik dapat digunakan untuk aplikasi fotogrametri.

b. Ukuran Film

Keterbatasan lain dalam penggunaan kamera non-metrik adalah terbatasnya ukuran film. Untuk mengcover area dengan luas dan skala yang sama, penggunaan kamera format kecil 24 mm x 36 mm membutuhkan jumlah foto lebih banyak dibandingkan jika pemotretan itu dilakukan dengan menggunakan kamera metrik format besar 23 cm x 23 cm. Selain itu seringkali dalam pemetaan metode foto udara dibutuhkan foto dengan ukuran asli yang besar, sehingga penggunaan kamera format kecil menjadi masalah.

c. Lensa Kamera

Merupakan bagian yang paling penting dan paling mahal dalam foto udara. Fungsi utama lensa adalah mengumpulkan berkas sinar dari seluruh titik yang membentuk sebuah objek dan mengumpulkannya kearah titik api (f) yang terletak pada jarak tertentu di sisi lain di balik lensa untuk membentuk gambaran objek secara keseluruhan.

Sifat lensa ini mengikuti prinsip pembiasan sinar sesuai dengan Hukum Snellius. Menurut hukum ini, jika ada seberkas sinar melintasi sebuah permukaan yang berada diantara dua medium yang mempunyai nilai indeks bias yang berbeda, maka sinar tersebut akan dibelokan atau dibiaskan. Jika sinar datang dari medium renggang ke medium rapat, maka sinar tersebut akan dibelokkan mendekati garis normal, sebaliknya jika sinar datang dari medium rapat ke medium renggang, maka sinar akan dibelokkan menjauhi garis normal.

Seberkas sinar datang yang berasal dari suatu obyek pada jarak tak terhingga jatuhnya dari lensa akan saling sejajar. Bayangan yang dibentuk oleh sinar-sinar ini akan jatuh pada bidang fokus tidak terhingga, sehingga

bayangan tersebut akan terlihat jelas. Semakin dekat jarak obyek dari sebuah lensa, maka akan semakin jauh jarak bayangan yang dibentuk dari lensa tersebut. Oleh karena itu untuk aplikasi foto udara banyak digunakan kamera dengan panjang fokus tetap untuk obyek tak terhingga.

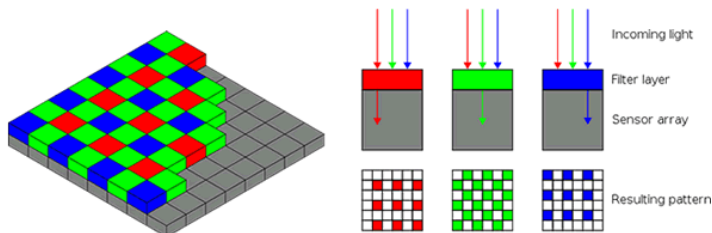
2.7 Sensor

Pada kamera konvensional, dimana cahaya yang masuk diproses secara kimia pada masing-masing layer pada lembar film, sehingga objek dapat direkam. Sedangkan pada kamera digital cahaya yang masuk ke dalam lensa akan difokuskan ke dalam sebuah sensor, sensor akan mengubah cahaya tersebut ke dalam bentuk aliran-aliran listrik. Aliran-aliran ini kemudian disimpan ke dalam memori secara cepat. Seperti pada film di kamera konvensional yang merekam gambar objek ketika ada cahaya, sensor merekam gambar secara elektronik, dan merubah cahaya menjadi elektron-elektron. Elektron ini kemudian dikonversi ke dalam bentuk digital, yang menghasilkan sebuah file yang mengandung informasi digital dimana ukuran bit gambar mewakili nilai warna. Tipe sensor biasanya mengacu pada penyebutan yang umum seperti 1/1.8" atau 2/3". Pengukuran tersebut biasanya lebih besar dari ukuran diameter aktual dari sebuah sensor tersebut. Penamaan ini tidak mengacu pada diameter diagonal dari area sensor tersebut, tetapi lebih kepada diameter luar dari gelas yang menutupi tabung. Para peneliti juga menemukan alasan-alasan yang memungkinkan penamaan ini adalah besarnya area yang dapat digunakan sebesar 2/3 dari total area yang ada. Penamaan ini bukan penamaan yang benar-benar jelas, karena tidak ada relasi yang jelas antara penamaan dengan perhitungan secara matematika, walaupun biasanya area yang dapat digunakan adalah sebesar 2/3 dari total area.

Salah satu jenis sensor pada kamera digital adalah *Charge Coupled Device* (CCD). CCD adalah suatu alat pencitraan untuk menkonversikan cahaya menjadi arus

elektrik yang proporsional (analog). Sebuah CCD memiliki lapisan-lapisan filter yang membagi menjadi warna merah, hijau, biru agar bisa diproses secara digital oleh kamera. Ada dua macam jenis CCD, yaitu rangkain linier yang digunakan dalam scanner datar, alat pengcopy digital dan Scanner Graphic Arts; serta rangkaian linier yang digunakan dalam scanner datar, serta rangkaian datar yang dipakai dalam comcorders, kamera video tidak bergerak, dan kamera-kamera digital. Setiap pixel didalam sensor kamera digital terdiri dari photodiode yang sensitif terhadap cahaya yang mampu mengukur tingkat brightness dari cahaya itu sendiri. Karena *photodiode* adalah *device* monokrom, maka tidak mungkin sensor mengenali perbedaan dari setiap panjang gelombang cahaya yang diterima.

Oleh karena itu, dibuatlah sebuah sistem filter warna berupa pola-pola mosaik yang disebut dengan *Color Filter Array* (CFA). CFA diletakkan dibagian atas sensor kamera dan akan bekerja dengan melakukan proses filterisasi cahaya yang jatuh keatas sensor, khusus untuk komponen warna red, green dan blue. Pola-pola ini dinamakan dengan RGB Bayer Pattern.



Gambar 2. 6 *Color Filter Array Sensor*
(Sumber : Wijayanti, 2008)

2.8 Kalibrasi Kamera

Untuk apapun aplikasi fotogrametri, akurasi dari data objek yang dihasilkan sangat tergantung kalibrasi kamera. Sebuah kamera dianggap telah terkalibrasi jika jarak fokus,

offset titik pusat foto, dan parameter distorsi kamera telah diketahui. Dalam banyak aplikasi, terutama computer vision, hanya jarak fokus yang diketahui sementara untuk keperluan fotogrametri yang sangat teliti semua parameter kalibrasi digunakan (Kavzoglu dkk., 2008).

Kalibrasi kamera adalah proses menentukan parameter internal dari sebuah kamera. Parameter internal dibutuhkan untuk merekonstruksi ulang berkas-berkas sinar pada saat pemotretan dan untuk mengetahui besarnya kesalahan sistematik dari sebuah kamera. Sebagaimana dijabarkan oleh Atkinson bahwa kalibrasi kamera memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Evaluasi kinerja kamera
2. Evaluasi dari stabilitas lensa
3. Penentuan parameter optik dan geometrik dari sebuah lensa
4. Penentuan parameter optik dan geometrik dari sistem lensa kamera
5. Penentuan parameter optik dan geometrik dari sistem akuisisi data citra

Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter internal kamera (IOP) meliputi principal distance (c), titik pusat fidusial foto (X_o , Y_o), distorsi lensa (k_1 , k_2 , k_3 , p_1 dan p_2), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak orthogonal antara sumbu X dan Y (b_1 , b_2) (Fraser, 1997).

2.8.1 Parameter Kalibrasi Kamera

Selama proses kalibrasi kamera akan memperoleh unsur-unsur dari orientasi dalam, yang terdiri dari (Fryer, 1985) :

1. Panjang fokus/ *Principal Distance* (f)

Panjang fokus adalah jarak tegak lurus antara titik pusat lensa (titik fokus) dengan bidang proyeksi kamera (sensor). Untuk pekerjaan fotogrametri dibutuhkan nilai pasti dari panjang dari panjang

fokus ini karena akan berhubungan dengan hasil pengukuran obyek.

2. Posisi titik utama foto (X_0, Y_0) yang merupakan koordinat titik utama dalam sistem koordinat fidusial.

3. Distorsi Lensa

Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik citra pada foto dari posisi yang sebenarnya, sehingga memberikan ketelitian pengukuran yang kurang baik. Distorsi lensa tak akan mempengaruhi kualitas ketajaman foto yang dihasilkan. Namun untuk pekerjaan fotogrametri, besarnya distorsi tak dapat diabaikan. Distorsi Lensa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu distorsi radial dan distorsi tangensial (*decentering*).

2.8.1.1 Distorsi Radial

Untuk keperluan fotogrametri teliti, posisi tanda tepi bersama-sama dengan titik tengah foto, panjang fokus, dan distorsi lensa harus ditentukan dengan cara kalibrasi kamera (Harintaka dkk, 2008). Distorsi radial merupakan “aberasi” lensa yang menyebabkan sinar datang yang masuk melalui lensa kamera mengalami deviasi setelah melewati titik pusat proyeksi lensa. Deviasi ini terjadi akibat tidak sempurnanya komposisi lensa. Distorsi lensa akan mengakibatkan pergeseran bayangan ke arah radial terhadap titik utama. Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polinomial dari jarak radial (Δr) terhadap titik utama foto (Atkinson, 2000). Distorsi radial dideskripsikan sebagai fungsi

polinomial dari jarak radial (Δr) terhadap titik utama foto, sebagai berikut :

$$\Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \quad (2.6)$$

Keterangan :

K_i = Koefisien parameter distorsi radial ($i=1,2,3,\dots$)

Δr = Besarnya distorsi radial

r = Jarak radial titik citra terhadap titik utama dengan nilai sebagai berikut,

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (2.7)$$

Keterangan :

(x,y) = Posisi titik pada foto

$(X_0 Y_0)$ = Posisi titik utama foto

Dimana, r adalah besarnya distorsi radial lensa; k_1, k_2, k_3 adalah parameter distorsi radial; r adalah jarak radial. Karakteristik distorsi radial lensa kamera dapat diketahui melalui kalibrasi kamera, jika karakteristik distorsi radial diketahui maka posisi objek pada foto dapat dikoreksi.

2.8.1.2 Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial atau sering juga disebut *decentering distortion* memiliki komponen radial dan tangensial sebagai vektor dari titik pusat foto ke titik objek, dan nilainya bervariasi terhadap sumbu distorsi tangensial maksimum. Semua elemen

dalam sistem lensa idealnya harus diatur sejajar dengan sumbu optis dari seluruh sistem lensa. Pergeseran vertikal ataupun rotasi pada elemen lensa dari susunan yang sempurna akan mengakibatkan pergeseran geometrik dari foto yang dikenal distorsi tangensial. Pergeseran ini bisa dideskripsikan dengan 2 persamaan polynomial untuk pergeseran pada arah x (Δx) dan y (Δy) (Atkinson, 1996).

Lensa kamera non-metrik merupakan gabungan dari beberapa lensa yang memiliki titik pusat yang berbeda. Terjadinya kesalahan dalam mengatur titik pusat lensa pada gabungan lensa (sentering) menyebabkan terjadinya distorsi tangensial yang disebut juga *decentric distortion*.

Distorsi tangensial (P_1, P_2)

$$\Delta x = P_1[r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_1(x - x_0)(y - y_0) \quad (2.8)$$

$$\Delta y = P_2[r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \quad (2.9)$$

Keterangan :

Δx = Pergeseran pada arah X

Δy = Pergeseran pada arah Y

$P_1 P_2$ = Parameter distorsi tangensial

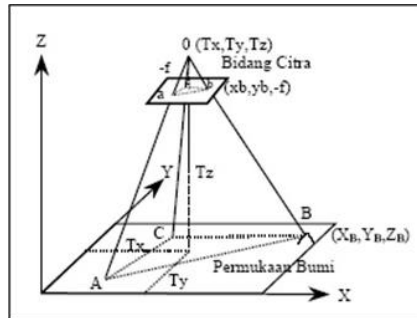
(x_0, y_0) = Posisi titik utama foto

r = Jarak radial titik citra terhadap titik utama foto

2.9 Prinsip Kesegaran

Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film atau detektor digital.

Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto harus terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kesegarisian (*collinearity condition*) berkas sinar. Kondisi ini merupakan dasar dari konsep fotogrametri.



Gambar 2. 7 Prinsip Kesegarisian
(Hertanto, 2014)

Dalam fotogrametri, posisi dari sebuah objek pada ruang didefinisikan pada sistem koordinat kartesian 3D. Pada awalnya, objek terdefinisi pada sistem koordinat berkas. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk mendapatkan koordinat objek pada sistem koordinat tanah. Antara kedua sistem koordinat itu terdapat perbedaan orientasi dan skala, sehingga transformasi koordinat terdiri dari translasi, rotasi dan perubahan skala. Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif (*perspective center*). Titik pusat lensa kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya. X_o, Y_o, Z_o merupakan titik pusat kamera, $x_a, y_a, -c$ merupakan koordinat sebuah titik A pada sistem koordinat berkas, dan X_A, Y_A, Z_A merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolinearitas adalah:

$$x_a - x_0 = -C \left[\frac{m11(XA - XL) + m12(ZA - ZL) + m13(YA - YL)}{m31(XA - XL) + m32(ZA - ZL) + m33(YA - YL)} \right] \quad (2.10)$$

$$y_a - y_0 = -C \left[\frac{m21(XA - XL) + m22(ZA - ZL) + m23(YA - YL)}{m31(XA - XL) + m32(ZA - ZL) + m33(YA - YL)} \right] \quad (2.11)$$

Dimana :

$x_a - x_0$ = Koordinat titik A di foto
 $y_a - y_0$ = Koordinat titik utama
 XA, YA, ZA = Koordinat titik A di Bumi
 C = Panjang fokus kamera
 m = Matriks rotasi

$$R = R\omega \cdot R\phi \cdot Rk$$

$$\begin{bmatrix} \cos\omega \cdot \cos\phi & \sin\omega \cdot \sin\phi \cdot \cos k + \sin\omega \cdot \sin k & -\cos\omega \cdot \sin\phi \cdot \cos k + \sin\omega \cdot \sin k \\ \cos\omega \cdot \sin\phi & -\sin\omega \cdot \sin\phi \cdot \sin k + \cos\omega \cdot \cos k & \cos\omega \cdot \sin\phi \cdot \sin k + \sin\omega \cdot \cos k \\ \sin\omega & -\sin\omega \cdot \cos\phi & \cos\omega \cdot \cos\phi \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Dimana :

$R\omega$ = Rotasi terhadap sumbu x
 $R\phi$ = Rotasi terhadap sumbu y
 Rk = Rotasi terhadap sumbu z

2.10 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Fotogrametri

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah teknologi kendaraan udara tak ber-pilot yang dikendalikan dari jarak jauh baik semi-otomatis maupun secara otomatis. Terminologi terbaru UAV fotogrametri menjelaskan bahwa platform ini dapat beroperasi dan dikendalikan dari jarak jauh baik secara semi-otomatis maupun otomatis tanpa perlu pilot duduk di kendaraan. Platform ini dilengkapi dengan

kemampuan untuk melakukan pengukuran fotogrametri baik secara skala kecil maupun besar dengan menggunakan sistem kamera atau kamera video, sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR, atau kombinasi ketiganya. UAV standar saat ini memungkinkan pendaftaran, pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global. Oleh karena itu teknologi UAV fotogrametri ini dapat dipahami sebagai alat pengukuran fotogrametri terbaru (Eseinbeiss, 2009).

2.11 Titik Kontrol Tanah (*Ground Control Point/GCP*)

Titik kontrol tanah atau ground control point (GCP) merupakan suatu titik di atas permukaan tanah yang memiliki nilai koordinat tertentu, dalam sistem koordinat tertentu, yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan posisi titik atau obyek di suatu tempat di permukaan tanah.

Menurut Ackerman (1970), konfigurasi distribusi dan jumlah titik kontrol dalam satu blok foto adalah sebagai berikut: titik kontrol tanah ini dapat ditentukan dengan berbagai cara. Untuk penentuan koordinat planimetriknya (X,Y) dapat digunakan metode triangulasi, trilaterasi, poligon dan GPS. Sedangkan untuk penentuan tinggi titiknya (Z) dapat digunakan metode sipat datar atau trigonometris. Pengukuran disini adalah pengukuran titik kontrol horizontal dan tinggi. Hasil dari pengukuran titik kontrol ini adalah daftar koordinat tanah X, Y, Z pada masing-masing titik kontrol tanah yang dilalui jalur pengukuran. Dalam pemotretan udara, titik kontrol tanah ini diperlukan untuk triangulasi udara (AT). Jumlah dan distribusi titik kontrol ini memegang peranan penting dalam menentukan ketelitian hasil suatu triangulasi udara.

2.12 Structure from Motion

Structure from Motion (SfM) adalah metode atau teknik pencitraan fotogrametri untuk memperkirakan struktur 3D dari urutan gambar dua dimensi yang dapat digabungkan

dengan sinyal gerakan lokal. SfM beroperasi menggunakan prinsip dasar yang sama dengan fotogrametri tradisional, yaitu struktur 3D bisa didapatkan dari beberapa gambar yang saling bertampalan. Tetapi, secara dasar berbeda dengan fotogrametri tradisional, karena geometri dan lokasi, yaitu posisi kamera dan orientasi diketahui secara otomatis tanpa harus menentukan titik-titik kontrol 3D. Hal ini diselesaikan secara bersamaan menggunakan prosedur *bundle adjustment* yang iterative, berdasarkan *database* dari fitur yang diambil secara otomatis dari beberapa gambar yang bertampalan (Snavely, 2010).

Metode ini paling cocok digunakan untuk sekumpulan gambar dengan overlap tinggi dengan menangkap struktur 3D secara keseluruhan dari lokasi yang dilihat dari berbagai macam posisi, atau sesuai dengan namanya, gambar yang didapat dari sensor yang bergerak (Westoby dkk 2012).

Metode SfM tidak memerlukan reseksi dalam pengerjaannya. Posisi kamera dan geometri dari lokasi direkonstruksi secara bersamaan melalui identifikasi secara otomatis dari fitur yang sama dalam beberapa gambar. Fitur ini dilacak dari gambar ke gambar, memungkinkan perkiraan awal dari posisi kamera dan koordinat objek yang nantinya diperbaiki secara iteratif menggunakan minimisasi least-square yang non-linear (Snavely, 2010).

Menurut Westoby dkk (2012), cara kerja SfM meliputi langkah-langkah seperti berikut :

1. Akuisisi foto

Proses SfM membentuk titik 3D objek dari banyaknya foto, sehingga akuisisi foto terhadap objek harus dari banyak sudut pengambilan. Banyaknya foto terhadap objek akan mempengaruhi resolusi spasial yang dihasilkan.

2. Ekstraksi *Keypoint*

Keypoint diekstraksi secara otomatis berdasarkan keunikan dari nilai *pixel* objek. Banyaknya *keypoint*

didasarkan pada tekstur dan resolusi gambar. Semakin baik tekstur dan semakin tinggi resolusi akan menghasilkan banyak *keypoint*.

3. Rekontruksi 3D

Rekontruksi 3D diperoleh dari proses *bundle adjustment* dari *keypoint* yang telah digabung. Hasil dari proses *bundle adjustment* menghasilkan *sparse point cloud*. Penggabungan *keypoint* dilakukan dengan algoritma *approximate nearest neighbor*. Algoritma *approximate nearest neighbor* menggabungkan *keypoint* berdasarkan jarak antara minimal dua *keypoint* berdekatan.

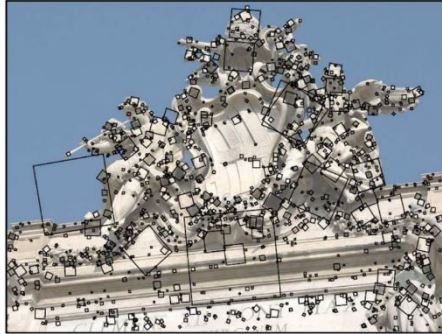
4. *Post-Processing*

Post-Processing yang dilakukan yaitu transformasi koordinat menggunakan data dari pengukuran GCP agar diperoleh koordinat absolut *point* 3D pada permukaan bumi.

2.12.1 Feature Extraction

Pemasalahan utama dalam SfM adalah penentuan lokasi 3D dari fitur yang cocok dalam beberapa foto yang diambil dari sudut yang berbeda. Langkah awal sebagai solusi dari permasalahan ini adalah mengidentifikasi fitur dalam setiap foto yang mungkin digunakan sebagai korespondensi gambar. Solusi yang populer untuk permasalahan ini, dan digunakan oleh Snavely (2010) adalah sistem pengenalan objek *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT). SIFT ini mengidentifikasi fitur di tiap gambar yang tetap pada *scaling* dan rotasi gambar yang tetap pada *scaling* dan rotasi gambar dan yang sedikit berubah pada kondisi iluminasi dan sudut pandang 3D kamera. Titik yang unik, atau 'keypoints' diidentifikasi secara otomatis di seluruh skala dan lokasi pada tiap gambar, diikuti dengan pembuatan *feature descriptor*, yang dihitung dengan mentransformasikan gradient gambar lokal ke dalam

representasi yang sangat tidak sensitif terhadap berbagai iluminasi dan orientasi (Lowe, 2004). Gambar 2.8 merupakan contoh dari fitur SIFT yang terdeteksi. Tiap fitur SIFT yang terdeteksi ditampilkan dengan kotak hitam dimana tengahnya merupakan lokasi dari fitur.



Gambar 2.8 Contoh SIFT yang terdeteksi

Sumber : (Snavely, 2010)

2.12.2 Feature Matching

Setelah fitur terdeteksi pada setiap gambar, sistem mencocokkan fitur di tiap pasang gambar. $F(I)$ menyatakan sekumpulan fitur yang ditentukan pada gambar I. Untuk sepasang gambar I dan J, sistem meninjau tiap fitur $f \in F(I)$ dan menemukan nearest *neighbor*-nya (dalam bentuk ruang) $f_{nn} \in F(J)$:

$$f_{nn} = \arg \min ||f_d - f'_d||_2 \quad (2.13)$$

Dimana :

f_{nn} = Fitur yang cocok (*matching feature*)

$\arg \min$ = Fungsi *argument of minimum*

f_d = Vektor *feature descriptor* gambar 1

f'_d = Vektor *feature descriptor* gambar 2

Setelah mencocokkan fitur di I ke J , tiap fitur akan $f \in F(I)$ dipasangkan dengan fitur yang paling cocok di $F(J)$. Tetapi, tiap fitur di $F(J)$ mungkin berpasangan dengan banyak fitur di $F(I)$. Karena sebuah fitur di $F(J)$ mungkin memiliki nilai yang sama dengan beberapa fitur di $F(I)$. Koresponden yang sebenarnya harus dalam bentuk satu ke satu, oleh karena itu beberapa dari pasangan yang salah akan dibuang. Apabila setelah langkah ini sepasang gambar memiliki jumlah pasangan yang lebih sedikit dari batas minimum, gambar dinyatakan tidak berpasangan dan seluruh pasangan fiturnya dibuang (Snaveley, 2010).

2.13 Spesifikasi Wahana dan Kamera

2.13.1 Spesifikasi Wahana

Farm Mapper merupakan komponen dasar dalam sistem UAV karena merupakan wahana yang digunakan untuk membawa kamera dalam melakukan pemotretan udara.



Gambar 2. 9 Farm Mapper
Sumber : (<http://motodoro.com/>)

Tabel 2.1 Spesifikasi Wahana

FARM-MAPPER LITE	
Weight	850 gr
Wingspan	1200 mm
Material	EPP Foam and Carbon Structure
Propulsion	Electronic Brushles Monitor
Battery	11.1 V, 2200 mAh Li-Po
Radio Telemetry	915 / 433 Mhz
Flight Time	Up to 30 Min
Flight Mode	<ul style="list-style-type: none"> - Manual - Stabilize - Autonomous - Fly-By-Wire
Take Off	Hand Launch
Landing	Belly Landing
Cruise Speed	8 – 16 m/s
Radio Link Range	3 KM
Maximum Coverage	Up to 100 Ha
Ground Sampling Distance	Down to 5 cm/pixel

2.13.2 Spesifikasi Kamera



Gambar 2.10 Kamera Canon PowerShot s100
 Sumber : (<http://www.canon-europe.com>)

Tabel 2.2 Spesifikasi Kamera

Canon PowerShot s100	
Layar	TFT color LCD 3 inci, (TFT) 461,000 dots
Pixel	12.1 MegaPixel
Sensor	1/1.7" (5.52x7.49 mm) type CMOS
Focal Length	24 – 120 mm
Lensa Building	Canon Lens 5.0 – 40.0 mm
Ukuran dan Berat	98.9 x 59.8 x 26.7 mm, 198 g (including battery)
Shutter Speed	15 – 1/2000 sec. (factory default), 15 – 1/2000 sec. (total range – varies by shooting mode)
Video	HD 1280 x 720 30 fps
ISO	Auto, 180-6400
Optical Zoom	5X Optical Zoom
Media Penyimpanan	SD/SDHC/SDXC Card
Fokus	AF, Face Detection
Koneksi	USB
Battery	Lithium-ion Battery, Hingga 220 shots dan 330 min playback
Format Foto	JPEG

2.14 Uji Ketelitian Peta

Ketelitian peta ortofoto diuji dengan mengikuti ketelitian Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang dikeluarkan melalui Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (BIG) No 15 Tahun 2014. Menurut Peraturan Kepala BIG No 15 Tahun 2014, ketelitian geometri peta diperoleh berdasarkan ketentuan seperti berikut :

Tabel 2.3 Ketelitian Geometri Peta RBI

No	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00

3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,30	0,5	0,50

Tabel 2.4 Ketentuan Ketelitian Geometri Peta RBI Berdasarkan Kelas

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horizontal	0.2 mm x bilangan skala	0.3 mm x bilangan skala	0.5 mm x bilangan skala
Vertikal	0.5 x interval skala	1.5 x ketelitian kelas 1	2.5 x ketelitian kelas 1

Nilai ketelitian pada tabel adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal dan LE90 untuk ketelitian vertikal, yang berarti bahwa kesalahan posisi peta tidak melebihi nilai tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%.

Nilai CE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar sebagai-berikut US NMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) sebagai berikut :

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz$$

(2.14)

Dengan :

RMSEr : *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal)

RMSEz : *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

Uji ketelitian posisi dilakukan hingga mendapatkan tingkat kepercayaan peta 90% Circular Error. Uji ketelitian posisi ditentukan dengan menggunakan titik uji yang memenuhi ketentuan objek yang digunakan sebagai titik uji, yaitu :

1. Dapat diidentifikasi dengan jelas di lapangan dan di peta yang akan diuji.
2. Merupakan objek yang relatif tetap tidak berubah bentuk dalam jangka waktu yang singkat.

3. Memiliki sebaran yang merata di seluruh area yang akan diuji.

Pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X,Y) antara titik uji pada gambar atau peta dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Pengukuran akurasi menggunakan *root mean square error* (RMSE) atau *Circular Error*. Pada pemetaan dua dimensi yang perlu diperhitungkan adalah koordinat (X,Y) titik uji dan posisi sebenarnya. RMSE digunakan untuk menggambarkan akurasi meliputi kesalahan random atau sistematik. Nilai RMSE diperoleh melalui persamaan.

$$RMSE_{horizontal} = \sqrt{D^2/n}$$

$$D^2 = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

$$D^2 = \sqrt{\frac{D[(X_{data} - X_{cek})^2 + (Y_{data} - Y_{cek})^2]}{n}}$$

(2.15)

Dengan :

- n = Jumlah total pengecekan pada peta
 D = Selisih antara koordinat yang diukur dilapangan dengan koordinat di peta
 x = Nilai koordinat pada sumbu X
 y = Nilai koordinat pada sumbu Y

Nilai CE90 kemudian dihitung dengan persamaan. Nilai CE90 akan disesuaikan dengan kelas peta pada skala yang dipilih.

2.15 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang mendasari penulis dalam pemilihan judul dan topik pembahasan diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh :

1. Gularso dkk (2013) yang berjudul *Penggunaan Foto Udara Format Kecil Menggunakan Wahana Udara (NIR-Awak) Dalam Pemetaan Skala Besar*. Penelitian tersebut dilakukan untuk melakukan uji akurasi hasil pemotretan dengan UAV format kecil untuk dimanfaatkan pada pemetaan skala besar. Akuisisi data dan uji akurasi berlangsung di sekitar kantor Badan Informasi Geospasial. Kamera yang digunakan adalah kamera digital non-metrik (Sony NEX 7). Dari penelitian tersebut dihasilkan bahwa nilai akurasi Mozaik dan DSM pada UAV berdasarkan NMAS (*National Map Accuracy Standart*) memenuhi toleransi akurasi menurut skala besar (hingga skala 1:1000) dengan beberapa persyaratan diantaranya ground control point yang harus disebar merata di setiap 100 meter dan diukur dengan GPS (ketelitian sub-milimeter).
2. Arafah dkk (2016) yang berjudul *Analisis Ketelitian Planimetrik Orthofoto Pada Topografi Perbukitan Dan Datar Berdasarkan Kuantitas Titik Kontrol Tanah*. Penelitian tersebut dilakukan dilaksanakan pada variasi topografi perbukitan dan datar yang berlokasi di sebagian Kampus UNDIP Tembalang dengan beberapa persebaran GCP yang menyebar dan bervariasi. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan ketelitian planimetrik ortofoto pada topografi perbukitan dan datar didapatkan nilai ketelitian RMSE pola merapat sebesar 1,133 meter dan rata-rata nilai RMSE menyebar sebesar 0,219 meter. Pola penyebaran GCP yang memiliki hasil dengan ketelitian RMSE yang tinggi adalah pola menyebar pada area batas penelitian yang ditunjukkan dengan nilai ICP yang kecil.

Dari penelitian tersebut, penulis mengusulkan judul “Analisa Planimetrik Hasil Pemetaan Foto Udara Skala 1:1000 Menggunakan Wahana Fix Wing UAV (Studi Kasus : Kampus ITS, Sukolilo)”. Untuk perekaman data penulis menggunakan kamera non-metrik digital Canon PowerShot S100 , sedangkan untuk metode pengolahan data penulis menggunakan metode *structure from motion*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kampus ITS Sukolilo, Surabaya.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
(Google Maps, 2017)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain :

- a. Foto hasil pemotretan udara yang diakuisisi pada tanggal 20 April 2017
- b. Data hasil pengamatan GPS koordinat (X, Y dan Z) *Ground Control Point (GCP) & Independent Check Point (ICP)*
- c. Citra Google Earth Kampus ITS, Sukolilo tahun 2017

3.2.1 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain terbagi dalam kelompok perangkat keras dan perangkat lunak yaitu sebagai berikut :

a) Perangkat Keras (*Hardware*)

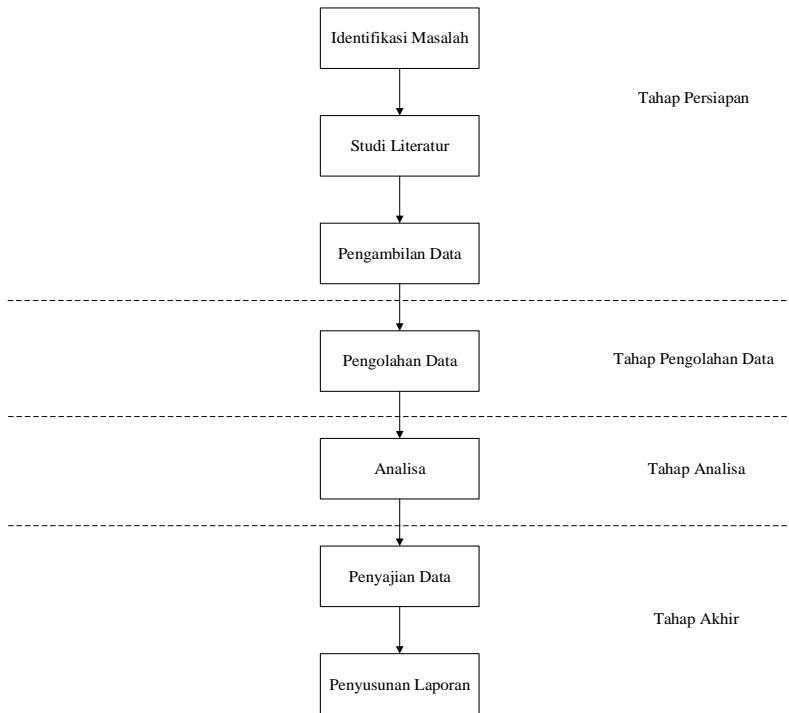
- Fix Wing UAV tipe Farm-Mapper sebagai wahana untuk pemotretan foto udara.
- Autopilot 3DR Pixhawk untuk pengendali pilot secara otomatis.
- Remote FrSky Taranis untuk mengendalikan penerbangan pesawat.
- GPS Geodetik untuk pengukuran GCP & ICP.
- Kamera Canon PowerShoot S100.
- Personal Computer (PC) dengan spesifikasi processor intel i7 4770K, VGA NVIDIA GTX 780, RAM 16 GB sebagai alat pengolahan data & Notebook Lenovo Intel® Core™ i5-4210U CPU @1.750GHz 2.40 GHz RAM 4,00 GB sebagai alat penulisan laporan.
- *Marker*

b) Perangkat Lunak (*Software*)

- Software pengolahan data foto udara.
- Software *Mission Planner* untuk membuat rencana jalur terbang pesawat.
- Sistem operasi Windows 10 Enterprise 64-bit.
- Microsoft Office 2013 untuk penulisan laporan dan mengolah data angka uji akurasi.
- *Photomodeler scanner* untuk pengolahan kalibrasi pada kamera Canon PowerShoot S100.

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah seperti pada diagram alir berikut ini :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir metode penelitian :

3.3.1 Tahapan Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan yang dilakukan adalah :

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk menentukan dan membatasi fokus permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman mengenai materi yang terkait dengan penelitian ini. Dalam hal ini adalah foto udara format kecil, pemrosesan foto udara, kalibrasi kamera, pengamatan GPS dan Fix Wing UAV yang didapatkan dari beberapa referensi seperti literature dari buku, jurnal dan pendapat menurut para ahli pada bidang terkait.

3. Persiapan Pra-Survey

Pada kegiatan ini dilakukan persiapan Pra-survey untuk penentuan distribusi GCP serta pembuatan rencana jalur terbang pesawat

4. Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data ini direncanakan tiga kegiatan, yaitu

a. Akuisisi Data Foto Udara

Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data hasil foto udara menggunakan kamera non-metrik digital dalam wahana UAV tipe Fix Wing.

b. Pengukuran Ground Control Point (GCP)

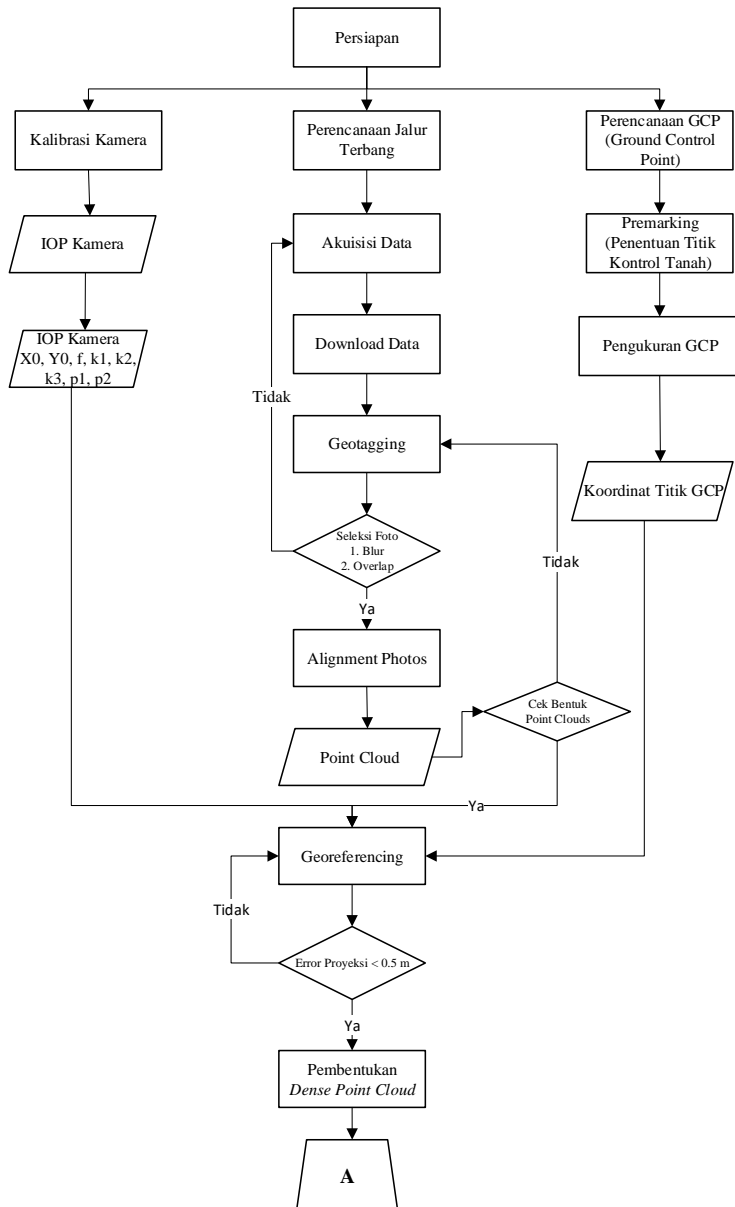
Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data berupa koordinat tanah (X,Y,Z) yang nantinya digunakan sebagai proses georeferencing pada data hasil pemotretan udara.

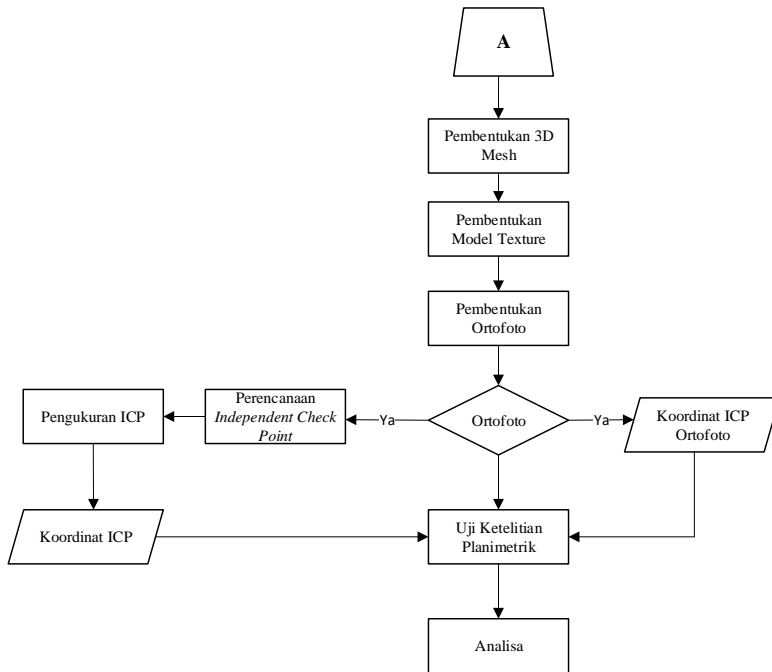
3.3.2 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan proses pengolahan data, yaitu sebagai berikut :

a. Tahap Pengolahan Data

Adapun alur dari tahapan pengolahan data pada penelitian tugas akhir, ini :





Gambar 3. 3 Diagram alir tahap pengolahan data

Adapun penjelasan dari diagram alir tersebut adalah sebagai berikut :

1. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan perencanaan jalur terbang. Rencana jalur terbang ini dibuat menggunakan software *mission planner* untuk menentukan area ter-cover serta memasukkan parameter kamera.
2. Mendesain distribusi titik *Ground Control Point* serta pemasangan patok dan *marker* yang akan digunakan sebagai proses *georeferencing* dalam pengolahan data foto udara.
3. Pemotretan udara dilakukan dengan kamera-non metrik berdasarkan rencana jalur terbang pesawat.

Akuisisi foto udara dilakukan area yang bertampalan dengan sidelap 80% dan Overlap 80% agar memudahkan dalam proses pengolahan foto udara.

4. Melakukan kalibrasi pada kamera untuk mendapatkan parameter orientasi dalam yang akan digunakan dalam pengolahan foto udara.
5. Setelah dilakukan akuisisi data, kemudian dilakukan proses geotagging menggunakan software *mission planner* pada hasil foto yang nantinya akan memudahkan dalam proses *alignment* foto.
6. Melakukan pengukuran *Ground Control Point* (GCP) menggunakan GPS tipe *Geodetik* untuk mendapatkan nilai koordinat tanah. Nilai koordinat (X,Y, dan Z) menggunakan sistem koordinat UTM.
7. Foto yang telah ter-geotagging diseleksi untuk menghilangkan foto yang mengalami blur dan sudut kemiringan foto yang terlalu besar kemudian diolah menggunakan *software* pengolahan SfM.
8. Pada tahap awal pengolahan Sfm, yaitu proses rekontruksi jalur terbang atau *alignment* foto dimana disini dikumpulkan kemudian direkontruksi urutan foto menurut jalur terbang secara otomatis.
9. Melakukan *georeferencing* pada citra foto menggunakan data hasil pengukuran *Groud Control Point*.
10. Pembangunan *Dense Cloud*, *Mesh* dan *Model Texture* dilakukan untuk menghasilkan *Surface Model* fisik berbentuk 3D dari kenampakan-kenampakan yang ada pada area liputan foto.
11. Pembangunan *Model Texture* dan *Orthomosaic* untuk membuat peta ortofoto.
12. Setelah ortofoto terbentuk dilakukan perencanaan persebesaran titik rencana pengukuran *Independent Check Point* (ICP)

13. Melakukan pengujian ketelitian planimetrik (X, Y) dengan membandingkan *Independent Check Point* (ICP) pada model dan hasil pengukuran lapangan.

3.3.3 Tahap Analisa

Pada tahap ini akan dilakukan uji koordinat menggunakan *Independent Check Point* (ICP) berdasarkan *orthomosaic* dan uji ketelitian.

3.3.4 Tahap Penyajian Data

Pada tahap ini akan dilakukan penyajian data. Hasil dari RMSEr dan uji akurasi horizontal akan ditunjukkan dalam bentuk tabel untuk dilakukan analisa. Tahap ini juga akan dilakukan proses penarikan kesimpulan berdasarkan analisa yang didapat. Hasil dari penafsiran data dan penarikan kesimpulan akan disusun dalam bentuk laporan tertulis untuk memberikan tambahan ilmu baik praktis maupun secara teoritis untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Pembuatan Jalur Terbang

Pembuatan jalur terbang merupakan proses untuk merencanakan jalur terbang pesawat untuk mendapatkan hasil foto yang diinginkan. Jumlah jalur terbang yang digunakan adalah 2.



(a.)



(b.)

Gambar 4. 1 Rencana Jalur Terbang Fix Wing UAV sesi 1 (a.) dan sesi 2 (b.)

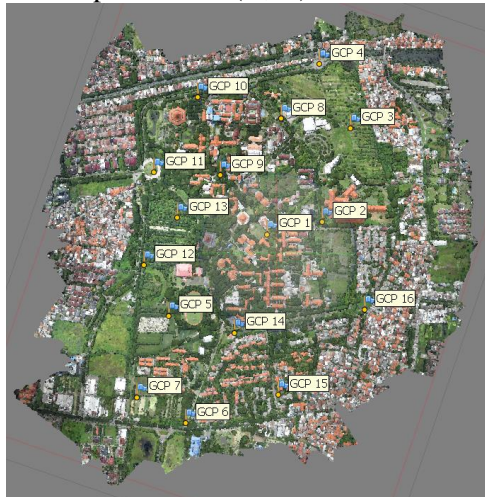
Jalur (a.) adalah pemotretan sesi 1 dimana terdapat 18 jalur terbang, sedangkan pada pemotretan sesi 2 terdapat 17 jalur terbang. Pada penelitian ini didesain dengan 2 sesi terbang karena keterbatasan daya baterai pada pesawat serta adanya sinyal wireless ITS yang kuat sehingga membuat wahana tidak mampu terbang dengan cakupan area yang jauh dengan pilot.

Tabel 4.1 Perencanaan terbang foto udara

Luas Area	184 Hektar
Tinggi Terbang	250 m
Jumlah Jalur	34
Jumlah Waypoint	110
Overlap	80%
Sidelap	80%
Shutter Speed	5 Second/image
Rencana Jumlah Foto	700

4.1.2 Hasil Pengukuran GCP dan ICP

Pengukuran *Ground Control Point* (GCP) menggunakan GPS Geodetik dengan menggunakan metode statik dengan lama pengamatan per-titik ± 30 menit. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data koordinat planimetris (X, Y).



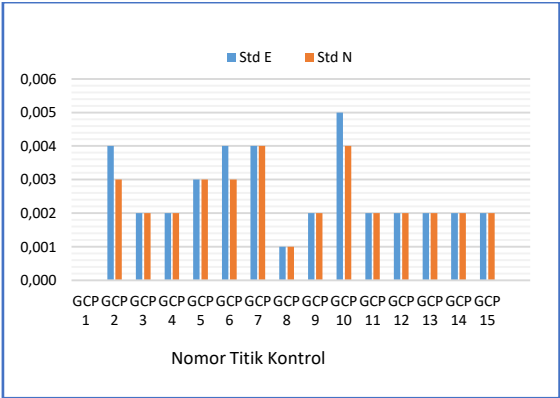
Gambar 4.2 Persebaran titik GCP



Gambar 4.3 Desain Jaring Titik Kontrol Tanah

Tabel 4.2 Koordinat GCP Hasil Pengukuran Lapangan

Nama	X (m)	Y (m)	Z (m)
GCP 1	698237,230	9194668,144	32,989
GCP 2	698508,220	9194729,711	33,188
GCP 3	698644,925	9195187,724	33,250
GCP 4	698494,704	9195499,468	34,299
GCP 5	697755,469	9194270,818	32,802
GCP 6	697838,937	9193748,098	32,988
GCP 7	697601,838	9193874,318	32,658
GCP 8	698304,954	9195234,883	33,376
GCP 9	698007,789	9194957,100	33,140
GCP 10	697898,365	9195337,811	33,001
GCP 11	697685,559	9194971,537	33,209
GCP 12	697636,224	9194519,192	32,734
GCP 13	697799,404	9194749,112	32,749
GCP 14	698079,260	9194188,999	32,904
GCP 15	698291,716	9193886,317	33,233
GCP 16	698712,976	9194301,842	33,338

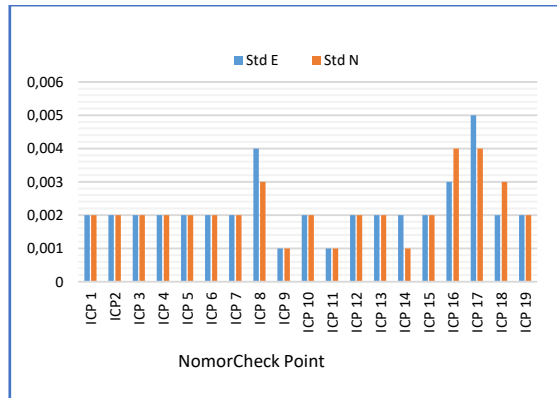


Gambar 4.4 Standar deviasi koordinat titik GCP

Pada gambar 4.4 terdapat nilai standar deviasi terkecil pada GCP 8 yaitu sebesar 0,001 dan nilai standar deviasi terbesar yaitu sebesar 0,005 pada GCP 10.

Tabel 4.3 Koordinat ICP Hasil Pengukuran Lapangan

Nama Titik	X (m)	Y (m)
ICP 1	698172,409	9194706,868
ICP 2	698648,046	9194453,315
ICP 3	698081,713	9194584,292
ICP 4	697691,093	9194944,47
ICP 5	697975,718	9194954,652
ICP 6	697751,197	9195277,464
ICP 7	697998,237	9195170,971
ICP 8	698547,395	9194280,043
ICP 9	698317,085	9195303,223
ICP 10	698336,506	9195097,264
ICP 11	698517,24	9195179,311
ICP 12	698514,684	9194990,538
ICP 13	698442,626	9194894,856
ICP 14	697941,831	9194461,741
ICP 15	697836,409	9194309,069
ICP 16	697814,602	9193993,85
ICP 17	698142,662	9194106,803
ICP 18	698293,455	9194461,14
ICP 19	698437,617	9194410,411



Gambar 4.5 Standar deviasi koordinat titik ICP

Pada gambar 4.3 terdapat nilai standar deviasi terkecil pada GCP 9, 11 dan 14 yaitu sebesar 0,001 dan nilai standar deviasi terbesar yaitu sebesar 0,005 pada GCP 18.

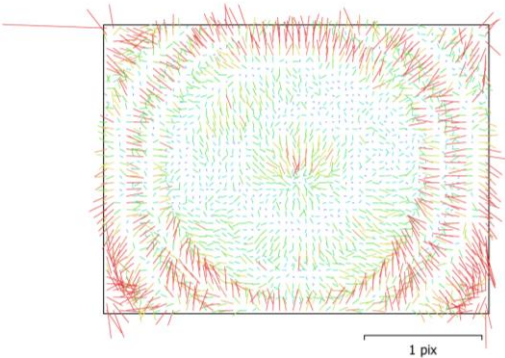
Data 16 titik kontrol tanah/ GCP akan digunakan dalam proses georeferencing pada model foto, sedangkan 19 titik ICP akan digunakan sebagai titik pembandingan dalam proses uji akurasi planimetrik yang persebaran titik nya dapat dilihat pada gambar.

4.1.3 Hasil Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera dilakukan untuk mendapatkan nilai Interior Orientation parameter (IOP) dari kamera non-metrik digital Canon PowerShoot S100. Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan software *Photomodeler Scanner* Didapatkan hasil kalibrasi yang terdapat pada tabel 4.4

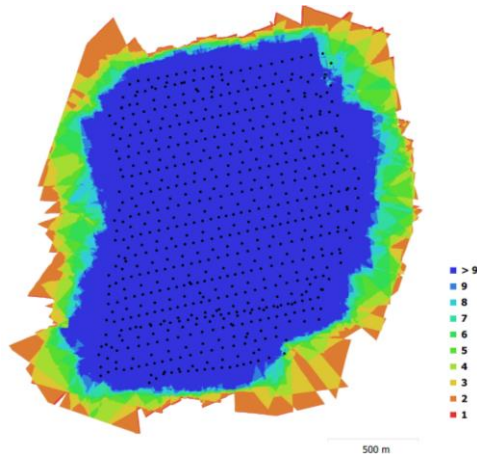
Tabel 4.4 Hasil Kalibrasi Kamera Canon PowerShoot S100

IOP	Nilai (mm)
Focal Length	5,380979
x0	3,730569
y0	2,825719
Radial K1	1,676E-03
Radial K2	-1,128E-05
Radial K3	0,000E+00
Tangensial P1	-4,998E-05
Tangensial P2	4,924E-04



Gambar 4. 6 Visualisasi distorsi pada kamera Canon PowerShot S100.

Kamera dengan resolusi tinggi dan distorsi rendah dapat digunakan untuk keperluan foto udara. Pada umumnya fotogrametri menggunakan kamera dengan format besar dimana mempunyai sumbu vertical sebesar 1/1000 dari tinggi terbang. Sedangkan kamera format kecil hanya memiliki akurasi setengah dari kamera format besar. K1, K2, dan K3 merupakan koefisien dari radial sedangkan P1 dan P2 merupakan koefisien dari Tangensial.

Gambar 4. 7 Lokasi kamera dan *overlap* ortofoto.

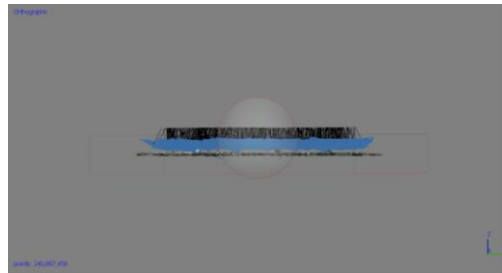
Tabel 4.5 Hasil Pengolahan

Jumlah Gambar	686
Tinggi Terbang	277 m
Ground Sampling Distance	8,82 cm/pixel
Area Tercover	3,95 km ²
Camera Stations	655
Tie Points	2.076.380
Terproyeksi	6.520.388
Proyeksi Error	1.38 pixel

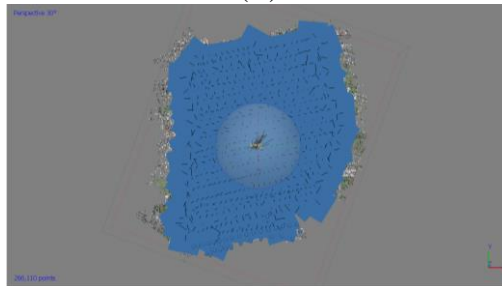
4.1.4 Pengolahan Foto dan Orthomosaik

Pada proses alignment foto dilakukan proses identifikasi tie point secara otomatis dengan menggunakan algoritma *SIFT invariant* yaitu menggabungkan paralaks antar foto hingga membentuk sebuah model tiga dimensi. Algoritma ini akan mengenali titik-titik yang mempunyai kesamaan nilai pixel. Hasil dari alignment foto yaitu berupa parameter orientasi dalam kamera (IOP), kumpulan tie point yang terdeteksi dalam model tiga dimensi dan posisi kamera

berdasarkan jalur terbang yang telah ter-geotagging sebelumnya.



(a.)



(b.)

Gambar 4.8 Posisi kamera pada saat pemotretan (a.) Tampak samping, (b.) Tampak atas



Gambar 4.9 Foto gagal ter-alignment

Pada Gambar 4.9 terlihat beberapa foto yang gagal pada proses alignment foto. Ini disebabkan karena proses Geotagging pada foto hasil pemotretan tidak sesuai dengan koordinat foto sebenarnya hingga mempunyai offset posisi yang sangat besar dan membuat gambar tampak terbalik (*rotate*). Foto yang gagal pada proses alignment foto akan dihapus agar tidak mempengaruhi proses pembangunan dense cloud. Foto yang telah mempunyai koordinat akan mempermudah dalam proses alignment, karena prinsipnya yaitu mencocokkan foto satu dengan yang lain yang mempunyai nilai pixel yang sama.



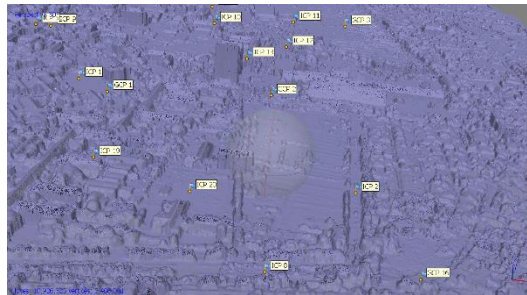
Gambar 4.10 Hasil *Tie Point*

Posisi kamera pada model atau yang biasa dikenal dengan parameter orientasi luar kamera (EOP) ini melibatkan hitungan bundle adjustment. Pada software pengolahan data SfM dapat memperkirakan parameter orientasi dalam dan luar kamera saat proses *alignment* foto. Pendefinisian koordinat tanah (*georeferencing*) menggunakan prinsip bundle adjustment yaitu melalui transformasi linear / transformasi koordinat dua dimensi ke tiga dimensi menggunakan tujuh parameter (tiga parameter translasi, tiga parameter rotasi dan satu parameter skala).

Pada software SfM, berdasarkan posisi kamera memungkinkan untuk menghasilkan dan memvisualisasikan model dense cloud. Hasil dense point cloud



Gambar 4.11 Hasil Pembentukan *Dense Cloud*



Gambar 4.12 Hasil Pembentukan *Mesh*



Gambar 4.10 Hasil Pembentukan *Model Textured*



Gambar 4.13 Hasil Pembentukan Ortomosaik

4.1.5 Koordinat ICP Model dan Lapangan

Titik cek bebas/ICP bertujuan untuk menguji keakuratan titik-titik kontrol tanah (GCP). Koordinat ICP Model didapatkan setelah proses *georeferencing*. Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X yaitu pada ICP 11 terdapat perbedaan sebesar -0,139 m, dan ICP 7 sebesar 0,215 untuk koordinat Y.

Tabel 4.6 Perbandingan Koordinat titik ICP model dan Lapangan.

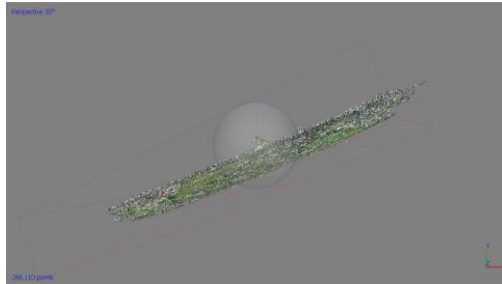
Koordinat ICP Model			Koordinat ICP Lapangan		
Nama	X	Y	Nama	X	Y
ICP 1	698172,51	9194706,818	ICP 1	698172,409	9194706,868
ICP 2	698648,064	9194453,442	ICP 2	698648,046	9194453,315
ICP 3	698081,761	9194584,149	ICP 3	698081,713	9194584,292
ICP 4	697691,206	9194944,531	ICP 4	697691,093	9194944,47
ICP 5	697975,666	9194954,833	ICP 5	697975,718	9194954,652
ICP 6	697751,303	9195277,587	ICP 6	697751,197	9195277,464
ICP 7	697998,274	9195171,186	ICP 7	697998,237	9195170,971
ICP 8	698547,506	9194280,439	ICP 8	698547,395	9194280,043
ICP 9	698317,077	9195303,2	ICP 9	698317,085	9195303,223
ICP 10	698336,608	9195097,185	ICP 10	698336,506	9195097,264
ICP 11	698517,101	9195179,259	ICP 11	698517,24	9195179,311
ICP 12	698514,725	9194990,514	ICP 12	698514,684	9194990,538
ICP 13	698442,566	9194894,718	ICP 13	698442,626	9194894,856
ICP 14	697941,778	9194461,608	ICP 14	697941,831	9194461,741
ICP 15	697836,421	9194309,036	ICP 15	697836,409	9194309,069
ICP 16	697814,752	9193993,847	ICP 17	697814,602	9193993,85
ICP 17	698142,578	9194106,933	ICP 18	698142,662	9194106,803
ICP 18	698293,442	9194461,285	ICP 19	698293,455	9194461,14
ICP 19	698437,544	9194410,473	ICP 20	698437,617	9194410,411

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa Georeference

Georeferencing merupakan proses pemberian koordinat titik kontrol pada model agar mempunyai koordinat sesuai dengan yang diinginkan. Foto yang telah ter-alignment kemudian dilakukan *georeferencing* dengan memasukkan koordinat pada marker yang terlihat pada foto. Perangkat lunak tersebut akan secara

otomatis mengetahui pergeseran nilai koordinat berdasarkan titik-titik yang di proyeksikan.



Gambar 4.14 lokasi kamera yang terbalik

Setelah memasukkan data koordinat GCP pada model dan mengatur sistem koordinat dan proyeksi hasil alignment yang tadinya benar menjadi terbalik. Ini dikarenakan offset pada hasil koordinat gps yang ada pada foto terlalu besar sehingga membuat foto menjadi terbalik.



Gambar 4.15 Proses Georeferencing pada foto

Tabel 4.7 RMS Error nilai pergeseran pada proses *georeferencing*

	X Error (cm)	Y Error (cm)	Z Error (cm)	Total (cm)	Image / (pix)
GCP 1	0,50	-0,82	1,62	1,88	0,36 (7)
GCP 2	0,35	1,45	-2,28	2,73	0,24 (6)
GCP 3	1,09	-2,04	-2,11	3,14	0,43 (7)
GCP 4	-3,30	1,54	1,23	3,85	0,39 (6)
GCP 5	-0,82	-0,37	0,09	0,91	0,16 (6)
GCP 6	-0,532	-1,31	-1,52	2,08	0,35 (6)
GCP 7	-1,64	0,029	0,52	1,72	0,42 (6)
GCP 8	0,47	-3,67	-0,21	3,70	0,86 (7)
GCP 9	-3,44	1,36	0,65	3,76	0,49 (7)
GCP 10	5,00	0,41	-3,15	5,92	0,61 (10)
GCP 11	1,28	0,52	1,81	2,28	0,77 (6)
GCP 12	0,15	-1,99	2,92	3,53	0,26 (6)
GCP 13	-2,43	2,01	0,67	3,23	0,84 (6)
GCP 14	-0,004	0,019	-0,59	0,59	0,25 (6)
GCP 15	-0,59	3,10	1,80	3,63	0,62 (6)
GCP 16	-2,05	-2,73	0,67	3,48	0,28 (6)
Total	2,02	1,80	1,64	3,17	0,51

Dari hasil georeferencing pada model, menunjukkan bahwa RMSE titik kontrol terbesar yaitu pada GCP 10 sebesar 5,92 cm sedangkan RMSE titik kontrol terkecil yaitu pada GCP 14 sebesar 0,59 cm.

4.2.2 Analisa Orthofoto

Orthofoto yang dihasilkan pada software pengolahan data foto udara menggunakan metode SfM ini bergantung kepada kualitas *mesh* yang terbentuk.



Gambar 4.16 Terlihat obyek gedung yang kurang halus



Gambar 4.17 Mozaik belum terbentuk dengan sempurna

Pada gambar 4.10 dan 4.11 terdapat hasil ortofoto yang kurang sempurna. Ini disebabkan oleh pergeseran relief pada proses pertampalan. Pada umumnya pergeseran relief terbesar terdapat pada gedung tinggi dan area vegetasi dengan tingkat kelembatan yang tinggi.

Peta Ortofoto Kampus ITS dibentuk oleh 2.076.380 *Sparse cloud*, 55.072.084 *dense cloud*, serta 8.934.886 *Faces* dan 4,477,967 *vertex*.

4.2.3 Uji Akurasi Planimetrik

Uji akurasi planimetrik yang dimaksud pada penelitian ini adalah ketelitian koordinat planimetrik yakni koordinat X dan Y pada peta. Untuk menguji ketelitian tersebut maka menurut Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 adalah nilai yang

menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi horizontal (X, Y) pada objek yang dianggap posisi sebenarnya dengan koordinat posisi horizontal yang sebenarnya.

Nilai ketelitian posisi peta dasar adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal yang berarti bahwa kesalahan posisi horizontal (X, Y) pada peta tersebut tidak melebihi nilai ketelitian dengan tingkat kepercayaan sebesar 90%.

Nilai CE90 dapat diperoleh dengan rumus yang mengacu kepada standar USNMAP (*United States National Map Accuracy Standards*) adalah sebagai berikut :

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_r$$

Keterangan :

RMSE_r : *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (Horizontal).

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{model} - X_{lapangan})^2}{n}} \dots (1.)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{model} - Y_{lapangan})^2}{n}} \dots (2.)$$

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \dots (3.)$$

Tabel 4.8 Uji Ketelitian Horizontal

Nomor Titik	Nama	X Model	X ICP	(D X)	(D X) ²	Y Model	Y ICP	(D Y)	(D Y) ²	(D X) ² +(D Y) ²
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ICP 1	698172,51	698172,409	0,101	0,010201	9194706,818	9194706,87	-0,05	0,0025	0,012701
2	ICP 2	698648,064	698648,046	0,018	0,000324	9194453,442	9194453,32	0,127	0,016129	0,016453
3	ICP 3	698081,761	698081,713	0,048	0,002304	9194584,149	9194584,29	-0,143	0,020449	0,022753
4	ICP 4	697691,206	697691,093	0,113	0,012769	9194944,531	9194944,47	0,061	0,003721	0,01649
5	ICP 5	697975,666	697975,718	-0,052	0,002704	9194954,833	9194954,65	0,181	0,032761	0,035465
6	ICP 6	697751,303	697751,197	0,106	0,011236	9195277,587	9195277,46	0,123	0,015129	0,026365
7	ICP 7	697998,274	697998,237	0,03697	0,0013668	9195171,186	9195170,97	0,215	0,046225	0,0475918
8	ICP 8	698547,506	698547,395	0,111	0,012321	9194280,439	9194280,04	0,396	0,156816	0,169137
9	ICP 9	698317,077	698317,085	-0,008	6,4E-05	9195303,2	9195303,22	-0,023	0,000529	0,000593
10	ICP 10	698336,608	698336,506	0,102	0,010404	9195097,185	9195097,26	-0,079	0,006241	0,016645
11	ICP 11	698517,101	698517,24	-0,139	0,019321	9195179,259	9195179,31	-0,052	0,002704	0,022025
12	ICP 12	698514,725	698514,684	0,041	0,001681	9194990,514	9194990,54	-0,024	0,000576	0,002257
13	ICP 13	698442,566	698442,626	-0,06	0,0036	9194894,718	9194894,86	-0,138	0,019044	0,022644
14	ICP 14	697941,778	697941,831	-0,053	0,002809	9194461,608	9194461,74	-0,133	0,017689	0,020498
15	ICP 15	697836,421	697836,409	0,012	0,000144	9194309,036	9194309,07	-0,033	0,001089	0,001233
16	ICP 16	697814,752	697814,602	0,15	0,0225	9193993,847	9193993,85	-0,003	9E-06	0,022509
17	ICP 17	698142,578	698142,662	-0,084	0,007056	9194106,933	9194106,8	0,13	0,0169	0,023956
18	ICP 18	698293,442	698293,455	-0,013	0,000169	9194461,285	9194461,14	0,145	0,021025	0,021194
19	ICP 19	698437,544	698437,617	-0,073	0,005329	9194410,473	9194410,41	0,062	0,003844	0,009173
									Jumlah	0,5096828
									Rata-rata	0,02682541
									RMSe	0,163784644
									CE 90	0,248543197

Dari perhitungan pada tabel 4.8 Didapatkan nilai RMSEr sebesar 0,163 meter. Standar akurasi menurut NMAS (*National Map Accuracy Standar*) adalah sebagai berikut :

$$\text{Akurasi Horizontal NMAS} = 1,5175 * \text{RMSEr}$$

Maka didapatkan nilai sebesar 0,248 meter untuk nilai akurasi horizontal. Kemudian dilakukan pengujian terhadap hasil tersebut seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.8 Tabel Uji CE90 untuk ketelitian Peta Skala 1:1000

Ketelitian	Hasil Uji CE90 (dalam m)	Ketelitian Peta Skala 1 :1000		
		Kelas 1 (dalam m)	Kelas 2 (dalam m)	Kelas 3 (m)
Horizontal	0,248	0,2	0,3	0,5

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Telah dilakukan pemetaan dengan metode fotogrametri menggunakan wahana *Fix Wing* UAV jenis *SkyWalker* di daerah Kampus ITS, Sukolilo dengan jumlah foto 686 dan tinggi terbang rata-rata 277 m.
- b. Perbandingan ICP model dengan lapangan menunjukkan nilai selisih terbesar yaitu pada ICP 11 sebesar -0,139 m untuk koordinat X dan pada ICP 7 sebesar 0,215 m untuk koordinat Y.
- c. Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan nilai CE90 sebesar 0,248 m yang berarti bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 2 dengan ketelitian minimum sebesar 0,3 m.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang didapat pada penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan yaitu :

- i. Pada proses pengolahan foto udara menggunakan metode SfM hingga menghasilkan ortofoto sebaiknya menggunakan spesifikasi notebook/pc yang cukup tinggi, melihat proses pengolahan tersebut membutuhkan RAM dan tempat penyimpanan yang besar.
- ii. Pada saat akuisisi data foto udara sebaiknya dilakukan lebih dari satu kali agar pergeseran relief yang dihasilkan dapat diminimalisir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ackerman, F. ITC: Lectures on Accuracy Aerial Triangulation
- Atkinson, K.B. (1996). Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing. Scotland, UK
- Atkinson. (2000). Theory of Close Range Photogrammetry, Ch.2 Coordinate Transformations. <http://www.lems.brown.edu/vision/people/leymarie/Refs/Photogrammetry/General.html>
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>
- Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Cibinong: Badan Informasi Geospasial
- BSN. (2014). SNI Spesifikasi Teknik Triangulasi Udara. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Cooper, M. A. R., & Robson, S. (1996). Theory of close range photogrammetry. In *Close range photogrammetry and machine vision* (pp. 9–51).
- Eisenbeiß, H., Zurich, E. T. H., Eisenbeiß, H., & Zürich, E. T. H. (2009). *UAV photogrammetry. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/doi:10.3929/ethz-a-005939264>
- Fraser, C. S. (1997). Digital camera self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(97\)00005-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(97)00005-1)

- Fryer, J. G. (1985). Non-metric photogrammetry and surveyors. *Australian Surveyor*, 32(5), 330–341.
<https://doi.org/10.1080/00050326.1985.10435139>
- Gularso, H., Subiyanto, S., Sabri, L. M., (2013), Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680 (Studi Kasus :Area Sekitar Kampus UNDIP), *Jurnal Geodesi Undip*, Volume 2, Nomor 2, Tahun 2013, (ISSN : 2337- 845X)
- Harintaka, Subaryono, Tanjung, A. M., (2008). Evaluasi Penerapan *Mini Bundle Block Adjustment* Pada Foto Udara Format Kecil. No. 3 Tahun XXX Edisi Agustus 2008 ISSN 0216-3012, *Media Teknik*.
- Hertanto, H., (2014). *Pembuatan Peta Foto dengan Mosaik Foto Udara Format Kecil Menggunakan Metode Kolinearitas*, Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., & Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.03.006>
- Kavzoglu, T., Karsli, F., Distortion, L., & Network, A. N. (2008). Calibraton of a Digital Single Lens Reflex (Slr) Camera Using Artificial Neural Networks. *Photogrammetry*, 3–8.
- Kraus, K., (2007), “Photogrammetry : Geometry from Images and Laser Scans”, Hubert & Co, GmbH, Germany.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91–110.
<https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

- Octori, O., (2015). *Analisa Foto Udara Format Kecil Dengan Wahana UAV Tipe Fix Wing (Studi Kasus : Kawasan Perumahan Pakuwon City, Surabaya)*. Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Shervais, K. (2015). Structure from Motion Introductory Guide. *Unavco*, 20. Retrieved from <https://www.unavco.org/education/resources/educational-resources/lesson/field-geodesy/module-materials/sfm-intro-guide.pdf>
- Slama, C., (1980), "Manual of Photogrammetry", Fourth Edition. Virginia. American Society of Photogrammetry
- Snaveely, N. (2010). Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections. In *Proceedings of the IEEE* (Vol. 98(8), 1370-1390.
- Soeta'at, (2011). Fotogrametri I. Yogyakarta: Diktat Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
- Warner, W., S., Graham., R., W., and Read, R., E., (1996). *Small Format Aerial Photography*, ISBN 1-870325-56-7, Whittles Publishing, Scotland, UK.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). "Structure-from-Motion" photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wicaksono, F.Y.E. (2009). Apa Itu Foto Udara?, Badan Perpustakaan dan Arsip Daerah ProvinsiDIY.<URL:<http://bpadjogja.info/file/a993f9ea56c958470ff07f271a12e7a62b.pdf>>. Dikunjungi pada tanggal 28 Januari 2014, jam 20.45.

- Wijayanti, Miim. (2008). Penerapan Metode Direct Linear Transformation Dalam Penentuan Posisi Distorsi Kamera Non Metrik. Bandung. Institut Teknologi Nasional Bandung
- Wolf, P. (2004). *Elements of Photogrammetry* (3rd ed.). USA: McGraw-Hill Book Company.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Dokumentasi



Gambar 1. Wahana Farm-Mapper Tampak Atas



Gambar 2. Wahana Farm-Mapper Tampak Depan



Gambar 3. Instalasi Wahana dan Pemasangan Kamera



Gambar 4. Pra-Take off mission



Gambar 5. Monitoring Misi Pesawat



Gambar 6. Pesawat Landing selesai misi

Foto Lokasi Ke Arah TIMUR



Foto Lokasi Ke Arah BARAT





Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur.
Kode Pos: 60111. Telp. : 031-5939361. Fax. : 031-
5939362

NAMA TITIK

GCP 16

FORMULIR DESKRIPSI TITIK GPS

Metode Pengukuran : **Statik (30 menit)**

Lokasi : **Perumahan Dosen Blok T**

Waktu Pengamatan: **Mulai: 2:18:00**

Akhir 2:58:15

Tanggal: Jum'at 21 April 2017

Koordinat Pendekatan: L:..... B:..... T: ...Elipsoid:..

Receiver: Ashtech/ Topcon/Leica/Trimble/: **Topcon**, Model: **Hiper Pro**..... S/N:

Antena: Ashtech/Topcon/Leica/ **Topcon**....., Model:**Hiper Pro**

Tinggi Antena: **Miring/Tegak**; sebelum : **1,318 m**; sesudah : **1,318 m**

Uraian Lokasi : Berada disebelah selatan sungai yang memisahkan daerah its dengan
kejawan

Kenampakan Menonjol : Sungai

Jalan ke Lokasi : Baik

Transportasi & Akomodasi ke Lokasi : Dapat dilalui dengan motor, kemudian berjalan kaki menuju lokasi patok.

Tahun : 2017

Foto Lokasi Ke Arah UTARA

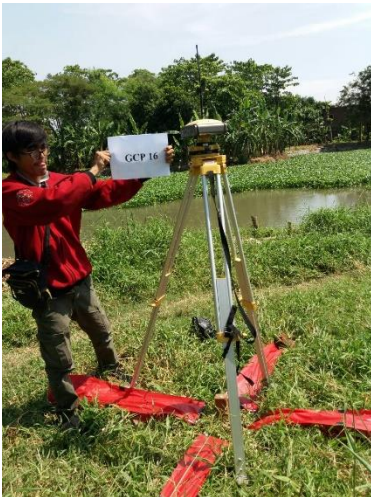


Foto Lokasi Ke Arah SELATAN



Foto Lokasi Ke Arah TIMUR**Foto Lokasi Ke Arah BARAT**




 <p>Departemen Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur. Kode Pos: 60111. Telp. : 031-5939361. Fax. : 031-5939362</p>	NAMA TITIK
	<p style="text-align: center; font-size: 2em;">ICP 1</p>
FORMULIR DESKRIPSI TITIK GPS	
<p>Metode Pengukuran : Statik (15 menit) Lokasi : Tiang Bendera, Perpustakaan ITS Waktu Pengamatan: Mulai: 12:44:55 Akhir 13:07:00 Tanggal: Kamis 25 Mei 2017 Koordinat Pendekatan: L:..... B:..... T: ...Elipsoid:.. Receiver: Ashtech/ Topcon/Leica/Trimble/: Topcon, Model: Hiper Pro..... S/N:..... Antena: Ashtech/Topcon/Leica/ Topcon....., Model:Hiper Pro Tinggi Antena: Miring/Tegak; sebelum : 1,445 m; sesudah : 1,445 m</p>	
Uraian Lokasi : Berada di sebelah timur tiang bendera upacara	
Kenampakan Menonjol : Tiang bendera	
Jalan ke Lokasi : Baik	
Transportasi & Akomodasi ke Lokasi : Harus berjalan kaki	
Tahun : 2017	
Foto Lokasi Ke Arah UTARA	Foto Lokasi Ke Arah SELATAN
	

Foto Lokasi Ke Arah TIMUR



Foto Lokasi Ke Arah BARAT





Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER
Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur.
Kode Pos: 60111. Telp. : 031-5939361. Fax. : 031-5939362

NAMA TITIK

ICP 3

FORMULIR DESKRIPSI TITIK GPS

Metode Pengukuran : **Statik (15 menit)**

Lokasi : **Lapangan Voli Fasum ITS**

Waktu Pengamatan: **Mulai: 17:02:45**

Akhir 17:14:25

Tanggal: Kamis 25 Mei 2017

Koordinat Pendekatan: L:..... B:..... T: ...Elipsoid:..

Receiver: Ashtech/ Topcon/Leica/Trimble/: **Topcon**, Model: **Hiper Pro**..... S/N:

Antena: Ashtech/Topcon/Leica/ **Topcon**....., Model:**Hiper Pro**

Tinggi Antena: **Miring/Tegak**; sebelum : **1,404 m**; sesudah : **1,404 m**

Uraian Lokasi : Berada di sebelah timur barat wall climbing

Kenampakan Menonjol : Lapangan voli, wall climbing

Jalan ke Lokasi : Baik

Transportasi & Akomodasi ke Lokasi : Harus berjalan kaki

Tahun : 2017

Foto Lokasi Ke Arah UTARA



Foto Lokasi Ke Arah TIMUR

Foto Lokasi Ke Arah SELATAN



Foto Lokasi Ke Arah BARAT



LAMPIRAN 2
Hasil Pemotretan



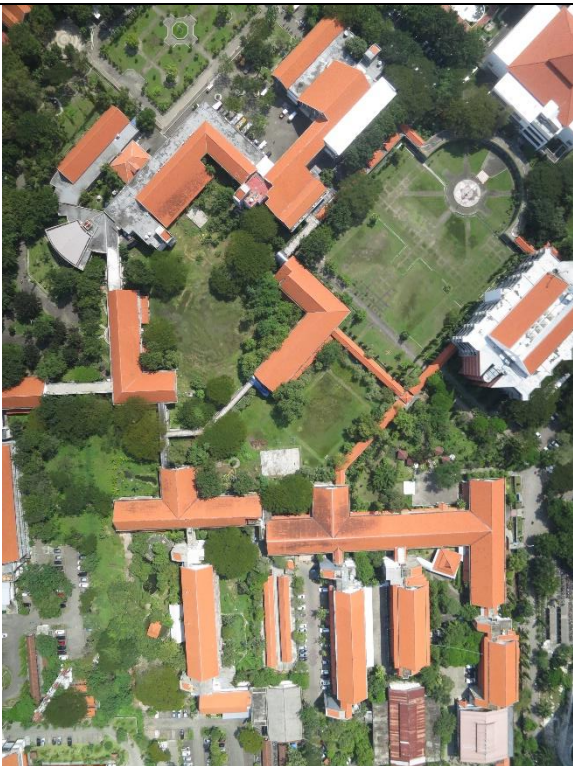
Name	IMG_0064_geotag.JPG
Altitude	226,58 meter
Focal Length	5 mm
F-Stop	f/4
Exposure Time	1/2000 sec
ISO Speed	ISO-400
Date/Time	20/04/2017 11:29
Situasi Cuaca	Cerah
Koordinat Foto	7;17;0.70871999999866375 112;47;29.562359899980919



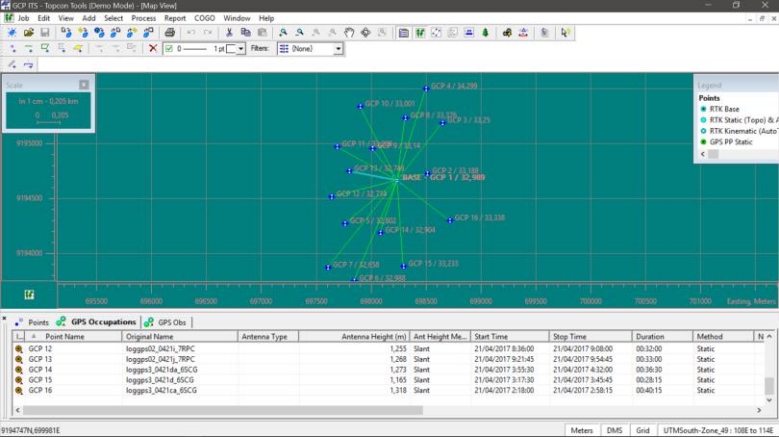
Name	IMG_0190_geotag.JPG
Altitude	271,81 meter
Focal Length	5 mm
F-Stop	f/4.5
Exposure Time	1/2000 sec.
ISO Speed	ISO-400
Date/Time	20/04/2017 11:40
Situasi Cuaca	Cerah
Koordinat Foto	7;17;5.5697999000003762 112;47;29.562359899980919



Name	IMG_0423_geotag.JPG
Altitude	246,99 meter
Focal Length	5 mm
F-Stop	f/4
Exposure Time	1/2000 sec
ISO Speed	ISO-400
Date/Time	20/04/2017 12:37
Situasi Cuaca	Cerah
Koordinat Foto	7;16;37.26659989999817 112;47;25.7614799999986392

	
Name	IMG_0736_geotag.JPG
Altitude	270,88 meter
Focal Length	5 mm
F-Stop	f/4.5
Exposure Time	1/2000 sec
ISO Speed	ISO-400
Date/Time	20/04/2017 13:03
Situasi Cuaca	Cerah
Koordinat Foto	7;16;57.2628000000000453 112;47;44.708999999973287

Lampiran 3
Hasil Pengolahan Data



Project Summary

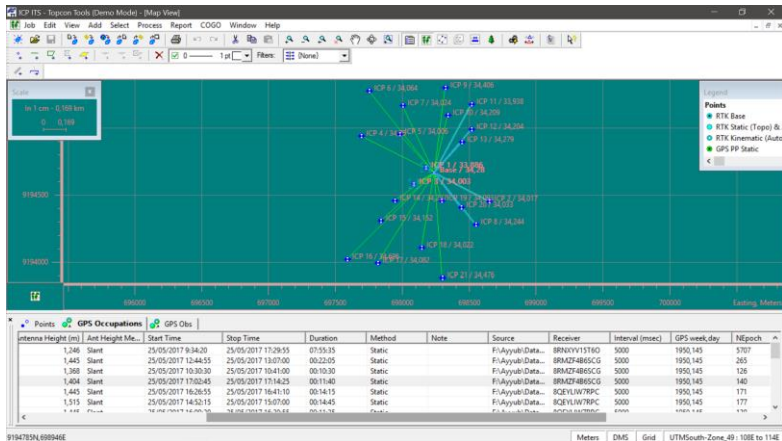
Project name: GCP ITS.ttp
Surveyor: Mr. Ayyubi
Comment:
Linear unit: Meters
Projection: UTMSouth-Zone_49 : 108E to 114E
Geoid:
Adjustment Summary

Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint
Confidence level: 95 %
Number of adjusted points: 16
Number of plane control points: 1
Number of used GPS vectors: 15
A posteriori plane UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)
Number of height control points: 1
A posteriori height UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)
Used GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
------	--------	--------	---------	--------------	--------------

BASE - GCP 1-GCP 2	61,566	270,990	0,199	0,005	0,013
BASE - GCP 1-GCP 3	519,580	407,696	0,261	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 4	831,323	257,474	1,310	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 5	- 397,326	- 481,761	-0,187	0,004	0,006
BASE - GCP 1-GCP 6	- 920,046	- 398,293	-0,001	0,005	0,008
BASE - GCP 1-GCP 7	- 793,826	- 635,392	-0,331	0,005	0,011
BASE - GCP 1-GCP 8	566,738	67,724	0,387	0,001	0,003
BASE - GCP 1-GCP 9	288,955	- 229,441	0,151	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 10	669,667	- 338,865	0,012	0,007	0,013
BASE - GCP 1-GCP 11	303,392	- 551,670	0,219	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 12	- 148,952	- 601,006	-0,255	0,003	0,008
BASE - GCP 1-GCP 13	80,967	- 437,825	-0,240	0,002	0,005
BASE - GCP 1-GCP 14	- 479,146	- 157,970	-0,085	0,003	0,006
BASE - GCP 1-GCP 15	- 781,827	54,487	0,244	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 16	- 366,302	475,747	0,349	0,001	0,003
GPS Observation Residuals					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BASE - GCP 1-GCP 2	61,566	270,990	0,199	0,005	0,013
BASE - GCP 1-GCP 3	519,580	407,696	0,261	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 4	831,323	257,474	1,310	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 5	- 397,326	- 481,761	-0,187	0,004	0,006
BASE - GCP 1-GCP 6	- 920,046	- 398,293	-0,001	0,005	0,008
BASE - GCP 1-GCP 7	- 793,826	- 635,392	-0,331	0,005	0,011
BASE - GCP 1-GCP 8	566,738	67,724	0,387	0,001	0,003

BASE - GCP 1-GCP 9	288,955	-	229,441	0,151	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 10	669,667	-	338,865	0,012	0,007	0,013
BASE - GCP 1-GCP 11	303,392	-	551,670	0,219	0,002	0,004
BASE - GCP 1-GCP 12	-	-	601,006	-0,255	0,003	0,008
BASE - GCP 1-GCP 13	80,967	-	437,825	-0,240	0,002	0,005
BASE - GCP 1-GCP 14	-	-	157,970	-0,085	0,003	0,006
BASE - GCP 1-GCP 15	-	54,487	0,244	0,002	0,004	
BASE - GCP 1-GCP 16	-	475,747	0,349	0,001	0,003	
Control Points						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code		
BASE – GCP 1	9194668,144	698237,230	32,989			
Adjusted Points						
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code		
GCP 2	9194729,711	698508,220	33,188			
GCP 3	9195187,724	698644,925	33,250			
GCP 4	9195499,468	698494,704	34,299			
GCP 5	9194270,818	697755,469	32,802			
GCP 6	9193748,098	697838,937	32,988			
GCP 7	9193874,318	697601,838	32,658			
GCP 8	9195234,883	698304,954	33,376			
GCP 9	9194957,100	698007,789	33,140			
GCP 10	9195337,811	697898,365	33,001			
GCP 11	9194971,537	697685,559	33,209			
GCP 12	9194519,192	697636,224	32,734			
GCP 13	9194749,112	697799,404	32,749			
GCP 14	9194188,999	698079,260	32,904			
GCP 15	9193886,317	698291,716	33,233			
GCP 16	9194301,842	698712,976	33,338			



Gambar 7. Pengolahan Data pengamatan GPS hasil pengukuran *ground control point* menggunakan *software Topcon Tools*.



Project Summary

Project name: ICP ITS.ttp

Surveyor: Mr. Ayyub

Comment:

Linear unit: Meters

Projection: UTMSouth-Zone_49 : 108E to 114E

Geoid:

Adjustment Summary

Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 22

Number of plane control points: 1

Number of used GPS vectors: 21

A posteriori plane UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)

Number of height control points: 1

A posteriori height UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)

Used GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
Base-ICP 1	38,724	-64,821	-0,393	0,002	0,004

Base-ICP 2	-214,829	410,816	-0,262	0,002	0,003
Base-ICP 3	-83,852	-155,517	-0,277	0,003	0,006
Base-ICP 4	276,326	-546,137	0,470	0,003	0,007
Base-ICP 5	286,508	-261,512	-0,274	0,003	0,006
Base-ICP 6	609,320	-486,033	-0,215	0,002	0,005
Base-ICP 7	502,827	-238,993	-0,256	0,002	0,003
Base-ICP 8	-388,101	310,165	-0,035	0,004	0,009
Base-ICP 9	635,079	79,855	0,126	0,001	0,003
Base-ICP 10	429,120	99,276	-0,071	0,003	0,006
Base-ICP 11	511,167	280,010	-0,342	0,001	0,004
Base-ICP 12	322,394	277,454	-0,076	0,003	0,005
Base-ICP 13	226,712	205,396	-0,001	0,002	0,006
Base-ICP 14	-206,403	-295,399	-0,043	0,002	0,004
Base-ICP 15	-359,075	-400,821	-0,127	0,002	0,005
Base-ICP 16	-645,433	-651,566	0,416	0,004	0,005
Base-ICP 17	-674,294	-422,628	-0,197	0,005	0,009
Base-ICP 18	-561,341	-94,568	-0,257	0,006	0,015
Base-ICP 19	-207,004	56,225	-0,187	0,004	0,013
Base-ICP 20	-257,733	200,387	-0,246	0,002	0,003
Base-ICP 21	-784,928	59,950	0,197	0,002	0,003
GPS Observation Residuals					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
Base-ICP 1	38,724	-64,821	-0,393	0,002	0,004
Base-ICP 2	-214,829	410,816	-0,262	0,002	0,003
Base-ICP 3	-83,852	-155,517	-0,277	0,003	0,006
Base-ICP 4	276,326	-546,137	0,470	0,003	0,007
Base-ICP 5	286,508	-261,512	-0,274	0,003	0,006
Base-ICP 6	609,320	-486,033	-0,215	0,002	0,005
Base-ICP 7	502,827	-238,993	-0,256	0,002	0,003
Base-ICP 8	-388,101	310,165	-0,035	0,004	0,009
Base-ICP 9	635,079	79,855	0,126	0,001	0,003
Base-ICP 10	429,120	99,276	-0,071	0,003	0,006
Base-ICP 11	511,167	280,010	-0,342	0,001	0,004
Base-ICP 12	322,394	277,454	-0,076	0,003	0,005
Base-ICP 13	226,712	205,396	-0,001	0,002	0,006
Base-ICP 14	-206,403	-295,399	-0,043	0,002	0,004

Base-ICP 15	-359,075	-400,821	-0,127	0,002	0,005
Base-ICP 16	-645,433	-651,566	0,416	0,004	0,005
Base-ICP 17	-674,294	-422,628	-0,197	0,005	0,009
Base-ICP 18	-561,341	-94,568	-0,257	0,006	0,015
Base-ICP 19	-207,004	56,225	-0,187	0,004	0,013
Base-ICP 20	-257,733	200,387	-0,246	0,002	0,003
Base-ICP 21	-784,928	59,950	0,197	0,002	0,003
Control Points					
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code	
Base	9194667,216	698238,082	34,280		
Adjusted Points					
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code	
ICP 1	9194705,940	698173,261	33,886		
ICP 2	9194452,387	698648,897	34,017		
ICP 3	9194583,364	698082,564	34,003		
ICP 4	9194943,542	697691,945	34,749		
ICP 5	9194953,724	697976,569	34,006		
ICP 6	9195276,536	697752,049	34,064		
ICP 7	9195170,043	697999,088	34,024		
ICP 8	9194279,115	698548,246	34,244		
ICP 9	9195302,295	698317,937	34,406		
ICP 10	9195096,336	698337,357	34,209		
ICP 11	9195178,384	698518,092	33,938		
ICP 12	9194989,610	698515,536	34,204		
ICP 13	9194893,928	698443,478	34,279		
ICP 14	9194460,813	697942,683	34,237		
ICP 15	9194308,141	697837,260	34,152		
ICP 16	9194021,783	697586,516	34,696		
ICP 17	9193992,922	697815,453	34,082		
ICP 18	9194105,875	698143,514	34,022		
ICP 19	9194460,212	698294,307	34,093		
ICP 20	9194409,483	698438,469	34,034		
ICP 21	9193882,288	698298,031	34,476		

Gambar 3.2 Pengolahan Data pengamatan GPS hasil pengukuran *independent check point* menggunakan *software Topcon Tools*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Ahmad Solihuddin Al Ayyubi, Penulis dilahirkan di Malang Provinsi Jawa Timur pada tanggal 19 juli 1994, merupakan anak ketiga dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Masyithoh lawing, SD Islam Al Maa'rif 02 Singosari, MTs Negeri 01 Surabaya, dan SMA IPIEMS Surabaya. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan jenjang perguruan tinggi di

Program Studi Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama menjalani perkuliahan, penulis juga aktif di organisasi intra kampus diantaranya Departemen Daya Cipta Kreasi Mahasiswa HIMAGE-ITS 2014/2015 dan juga aktif dalam beberapa kegiatan seminar. Selain itu penulis juga mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM-PRA-TD dan aktif dalam kepanitiaan di tingkat jurusan hingga fakultas. Dalam penelitian tugas akhir, penulis mengambil bidang keahlian fotogrametri dengan judul “*Analisa Planimetrik Hasil Pemetaan Foto Udara Skala 1:1000 Menggunakan Wahana Fix Wing UAV (Studi Kasus : Kampus ITS Sukolilo).*”